



Universidad
Carlos III de Madrid

Departamento de Ingeniería Térmica y de
Fluidos

PROYECTO FIN DE CARRERA

EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UNA BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA. SIMULACIÓN Y COMPARATIVA

Autor: Miriam Sierra Rodríguez

Tutor: Amancio Moreno Rodríguez

Leganés, julio de 2016





A mi familia, amigos y todas aquellas personas que
han formado parte de esta etapa de mi vida.



Índice general

1. INTRODUCCIÓN	10
1.1 OBJETIVO	11
1.2 NORMATIVA APLICABLE	12
2. ENERGÍA GEOTÉRMICA.....	14
2.1 ENERGÍA GEOTÉRMICA	15
2.1.1 DEFINICIÓN	15
2.1.2 HISTORIA DE LA GEOTERMIA.....	21
2.1.3 TIPOS DE ENERGÍA GEOTÉRMICA	23
2.1.4 ENERGÍA GEOTÉRMICA DE BAJA ENTALPÍA. CALOR DE BAJA TEMPERATURA.....	25
2.1.5 UTILIZACIÓN DIRECTA: RESIDENCIAL Y SERVICIOS	26
2.2 DIFERENCIAS ENTRE OTROS SISTEMAS CONVENCIONALES.....	29
2.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS	31
2.3.1 VENTAJAS.	31
2.3.2 DESVENTAJAS	36
2.4 SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN GEOTÉRMICA.....	38



2.4.1 TIPOLOGÍAS SEGÚN INSTALACIÓN.....	39
2.5 BOMBAS DE CALOR.....	43
2.5.1 BOMBAS DE CALOR CONVENCIONALES.....	43
2.5.2 BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA.....	47
2.5.3 SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE ENERGÍA GEOTÉRMICA DE MUY BAJA TEMPERATURA.....	53
3. DATOS DE PARTIDA	59
3.1 SITUACIÓN DEL EDIFICIO	60
3.2 DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO	61
4. CARGAS TÉRMICAS	67
4.1 INTRODUCCIÓN.....	68
4.2 CONDICIONES DE DISEÑO	68
4.2.1 CONDICIONES DEL AMBIENTE TÉRMICO INTERIOR	69
4.2.2 AMBIENTE EXTERIOR	69
4.3 CLASIFICACIÓN Y METODOLOGÍA DEL CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS	70
4.4 CARGAS TÉRMICAS DE CLIMATIZACIÓN	72
4.4.1 CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS DE TRANSMISIÓN	73
4.4.2 CARGAS TÉRMICAS DEBIDAS A LA VENTILACIÓN.....	78
4.4.3 CARGAS TÉRMICAS POR INFILTRACIONES	82
4.4.4 CARGAS TÉRMICAS INTERIORES.....	82
4.5 CÁLCULO TOTAL DE CARGAS TÉRMICAS DE CLIMATIZACIÓN.....	84
5. DEMANDA TÉRMICA, SISTEMA DE REFRIGERACIÓN, CONSUMO ELÉCTRICO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA	85
5.1 DEMANDA TÉRMICA.....	86
5.2 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	92
5.3 EFICIENCIA ENERGÉTICA	99



6. SELECCIÓN DE EQUIPOS, COMPARATIVA.....	103
6.1 ELECCIÓN BOMBA DE CALOR CONVENCIONAL	104
6.2 ELECCIÓN BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA	111
7. CONCLUSIONES	118
7.1 CONCLUSIONES.....	119
8. BIBLIOGRAFÍA, WEBS DE CONSULTA.	122
9. ANEXOS	125
ANEXO 1. CÁLCULO DE LAS CARGAS TÉRMICAS DEBIDAS A LA VENTILACIÓN	126
ANEXO 2. CÁLCULO DE LA CARGA TÉRMICA TOTAL DEL EDIFICIO	135

Índice de figuras y tablas

Figura 1. Estructura interna de la Tierra.

Figura 2. Temperatura del subsuelo en función de la profundidad y la época del año.

Figura 3. Principales usos de la energía geotérmica en función de la temperatura.

Figura 4. Diagrama de barras de los costes según el sistema de climatización utilizado.

Figura 5. Esquema doble de funcionamiento del grupo evaporador-condensador. Ciclos verano e invierno.

Figura 6. Funcionamiento de la bomba de calor reversible. Ciclos verano e invierno.

Figura 7. Sección de una válvula de cuatro vías y situación de verano e invierno de la misma.

Figura 8. Esquema de funcionamiento de una bomba de calor de absorción aire-aire.

Figura 9. Diferentes posibilidades de foco frío para bomba de calor.

Figura 10. Etapas para el dimensionamiento de una bomba de calor geotérmica.

Figura 11. Ubicación del edificio.

Figura 12. Zonas climáticas.

Figura 13. Planta sótano del edificio.

Figura 14. Planta baja del edificio.

Figura 15. Planta primera del edificio.

Figura 16. Planta segunda del edificio.

Figura 17. Planta cubierta del edificio.

Figura 18. Fuente CTE. Ahorro energético.

Figura 19. Fuente CTE. Ahorro energético.

Figura 20. Caudales mínimos de aire exterior.

Figura 21. Temperaturas del verano de 2010.

Figura 22. Temperatura exterior a lo largo del día 20/07/2010

Figura 23. Temperatura exterior a lo largo del día 04/08/2010

Figura 24. Temperatura exterior a lo largo del día 26/08/2010

Figura 25. Demanda térmica a lo largo del día 20/07/2010

Figura 26. Demanda térmica a lo largo del día 04/08/2010

Figura 27. Demanda térmica a lo largo del día 26/08/2010

Figura 28. Ciclo de refrigeración.

Figura 29. Diagrama de Mollier.

Figura 30. Enfriadora CARRIER modelo 30RB182-B

Figura 31. Trabajo del compresor en función de la Temperatura exterior

Figura 32. Consumo eléctrico a lo largo del día 20/07/2010

Figura 33. Consumo eléctrico a lo largo del día 04/08/2010

Figura 34. Consumo eléctrico a lo largo del día 26/08/2010

Figura 35. COP en función de la Temperatura exterior

Figura 36. COP a lo largo del día 20/07/2010

Figura 37. COP a lo largo del día 04/08/2010

Figura 38. COP a lo largo del día 26/08/2010

Figura 39. Diagrama P-h del refrigerante R410A para una Tcond de 56,3 °C

Figura 40. Diagrama P-h del refrigerante R410A para una Tcond de 23 °C

Figura 41. Enfriadora CLIVET modelo WSH-XSC 65D-180F.

Figura 42. Consumo eléctrico a lo largo del día 20/07/2010

Figura 43. Consumo eléctrico a lo largo del día 04/08/2010

Figura 44. Consumo eléctrico a lo largo del día 26/08/2010

Figura 45. COP a lo largo del día 20/07/2010

Figura 46. COP a lo largo del día 04/08/2010

Figura 47. COP a lo largo del día 26/08/2010

Figura 48. Diagrama P-h del refrigerante R410A para una Tcond de 30 °C

Figura 49. Diagrama P-h del refrigerante R410A para una Tcond de 25 °C

Tabla 1. Principales países con bombas de calor geotérmicas.

Tabla 2. Superficies del edificio.

Tabla 3. Condiciones interiores de diseño.

Tabla 4. Datos de temperaturas del año 2010 en Madrid.

Tabla 5. Fuente: programa LIDER del CTE.

Tabla 6. Datos de entalpías en función de la temperatura exterior.





Capítulo I

Introducción

1.1 OBJETIVO

El diseño tanto de los propios edificios como de sus instalaciones interiores está cada vez más marcado por aspectos basados en soluciones de eficiencia energética. En esta línea, las instalaciones geotérmicas de muy baja entalpía con bomba de calor, son una solución cada vez más utilizada a la hora de dar respuesta a las necesidades térmicas de edificios. Se trata de una tecnología que confiere a los edificios en los cuales se implementa una serie de beneficios muy relevantes. Entre ellos se podría citar la independencia energética, puesto que se basa en un recurso presente en el subsuelo del propio terreno dónde se ubica el proyecto, de modo que la fuente de energía está permanentemente disponible.

El objetivo de este proyecto es comparar la eficiencia de una instalación de climatización de un centro de convalecencia en el término municipal de Vicálvaro (Madrid), y que incorpora un sistema de intercambio energético geotérmico basado en la utilización de bomba de calor geotérmica, con una instalación convencional consistente en una bomba de calor aire-agua.

En la concepción de un centro hospitalario se deben aunar las más estrictas normativas de calidad de aire, junto a un sistema de generación de alta eficiencia y gestión energética, desarrollado para optimizar las altas demandas energéticas. También las características específicas de climatización requeridas por los pacientes ingresados. Esta instalación integra un sistema de aprovechamiento del recurso energético geotérmico que

permite satisfacer la demanda completa de refrigeración a través de un campo de perforación.

1.2 NORMATIVA APLICABLE

Para llevar a cabo un proyecto de climatización de esta índole, se aplicará la normativa vigente en este momento:

- El código técnico de la edificación (CTE), que se trata del marco normativo por el que se regulan las exigencias básicas de calidad que deben cumplir los edificios, incluidas sus instalaciones, para satisfacer los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad. En concreto se atenderá especialmente a los documentos básicos (DB) contenidos en el CTE, el DB-HE: Ahorro de energía, cuyo objetivo consiste en conseguir un uso racional de la energía necesaria para la utilización de los edificios, reduciendo a límites sostenibles su consumo y conseguir asimismo que una parte de este consumo proceda de fuentes de energía renovable.
- El Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), REAL DECRETO 1027/2007, que tiene por objeto establecer las exigencias de eficiencia energética y seguridad que deben cumplir las instalaciones térmicas en los edificios destinadas a atender la demanda de bienestar e higiene de las personas, durante su diseño y dimensionado.



- Normas UNE de aplicación en este campo.

Además, se utilizarán documentos de seguimiento recomendado:

- La guía técnica de diseño de sistemas de bomba de calor geotérmica, desarrollado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).
- La guía técnica de instalaciones de climatización por agua, desarrollado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).

De este modo se conseguirá optimizar el uso de la energía, llegando a diseñar un edificio eficiente, respaldado por el marco normativo vigente.



Capítulo II

Energía Geotérmica

2.1 ENERGÍA GEOTÉRMICA

2.1.1 DEFINICIÓN

Se define energía geotérmica como aquella que se obtiene por el aprovechamiento del calor interno de la Tierra. Engloba el calor almacenado en rocas, suelos y aguas subterráneas, cualquiera que sea su temperatura, profundidad y procedencia.

El sistema térmico requiere de un fluido para transportar el calor de la Tierra (sondeos, colectores horizontales,...) hacia la superficie. Al llegar a la superficie, se aprovechará este calor bien para la producción de energía o bien para aplicaciones industriales o domésticas. Éste es el caso que nos ocupa, climatizar directamente mediante el uso de intercambiadores de calor o bombas de calor.

Desde el centro hasta la superficie, el globo terrestre está formado por tres capas sucesivas de temperatura decreciente:

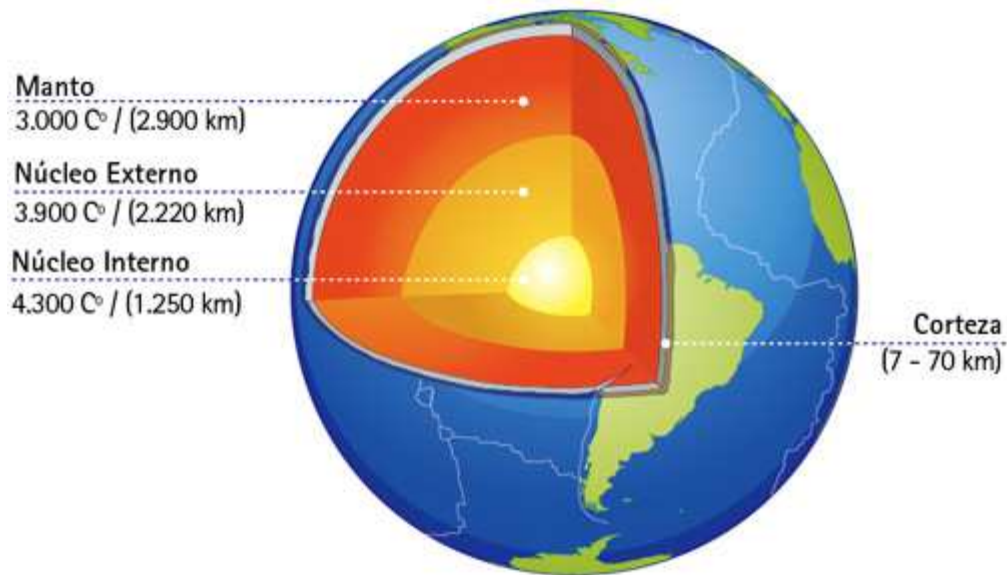


Figura 1. Estructura interna de la Tierra.

- El núcleo, sólido en su parte interna y líquido en su parte exterior, con una temperatura que puede alcanzar los 4.200 C.
- El manto, que envuelve al núcleo, con temperaturas que van desde los 3.000 °C hasta los 1.000 °C. Tiene una textura plástica en su parte más interna y se va haciendo sólido en su parte hacia la superficie.
- La corteza, corresponde a la envoltura superficial, tiene un espesor que varía desde 5 a 20 km en las profundidades oceánicas, y desde 30 a 70 km bajo los continentes. Su temperatura varía desde los 1.000 °C en su contacto con el manto, hasta los 15 – 20 °C de la superficie terrestre.

El resultado de esta estructura interna es que el 99% de la masa de la tierra está sometida a temperaturas superiores a los 1000 °C y únicamente un 0,1% de la misma soporta superficies inferiores a los 100 °C.

El origen de este calor interno del globo terrestre se debe a los siguientes motivos:

- Desintegración de los isotopos radioactivos presentes en la corteza y en el manto.
- Calor inicial que se liberó durante la formación del planeta hace 4500 millones de años, y que todavía está llegando a la superficie.
- Movimientos diferenciales entre las diferentes capas que constituyen la Tierra, principalmente entre el manto y el núcleo.
- Cristalización del núcleo. En su zona externa (líquida) está cristalizando continuamente y en la zona de transición con el núcleo interno (sólido) se libera calor.

Además del calor interno, la superficie de la tierra recibe del sol gran cantidad de energía en forma de calor. Esta energía penetra en el subsuelo a escasa profundidad, contribuyendo a mantener la superficie del planeta a una temperatura promedio de 15°C, y es irradiada de nuevo al espacio, por lo que no interviene en los procesos energéticos que afectan al interior de la Tierra.

Es este calor más superficial, llamado de muy baja temperatura o entalpia, el que se utiliza como fuente de energía de uso en edificios.

Por lo tanto, no hace falta hablar de un yacimiento de energía geotérmica de baja temperatura, ya que cualquier punto a poca profundidad de la corteza terrestre puede ser empleado como fuente de energía al estar la temperatura normalmente algo por debajo de los 25 °C, incluso en las zonas con climas fríos.

La temperatura media que tiene el subsuelo en un determinado punto es aproximadamente igual a la temperatura media anual de la zona. En España, se estima que la temperatura media del subsuelo puede estar en torno a los 15 °C.

Si hacemos un estudio de la temperatura que tiene el subsuelo a medida que profundizamos en diferentes épocas del año, obtendremos un gráfico en el que observamos cuatro curvas:

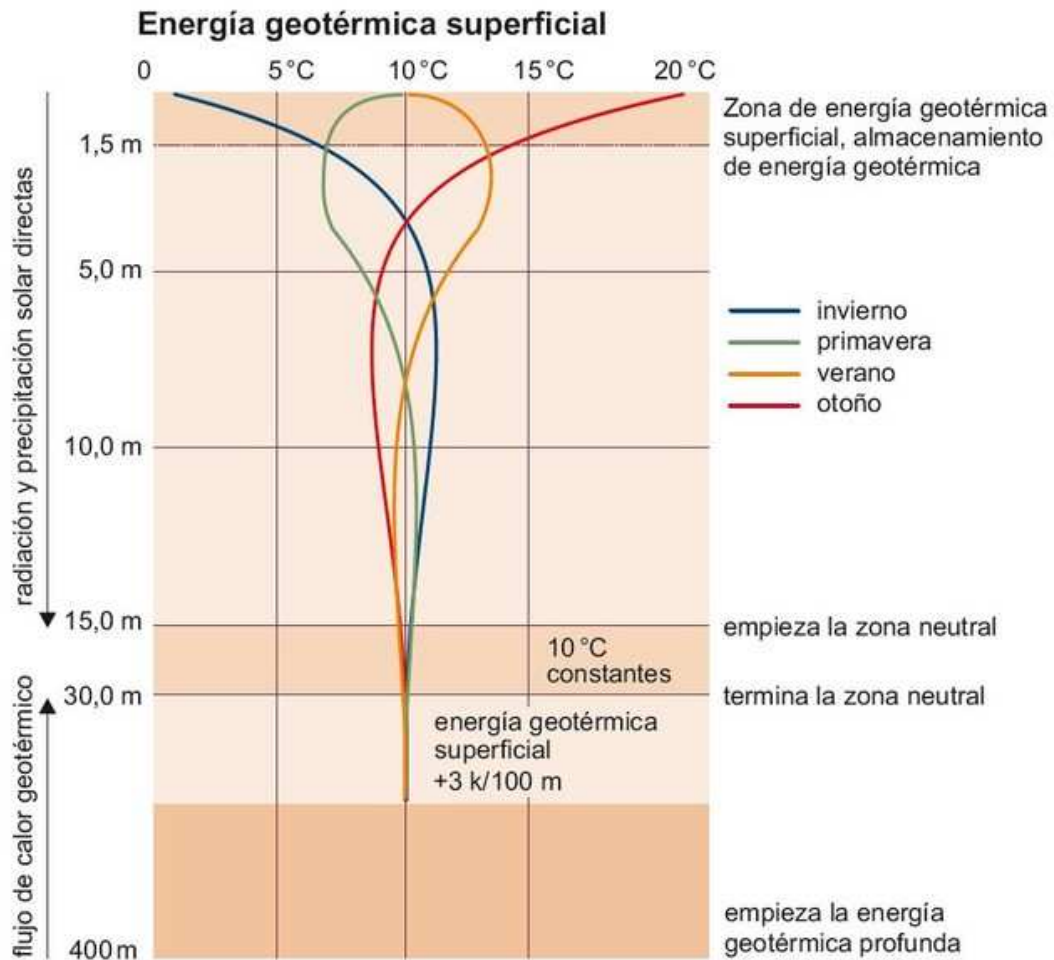


Figura 2. Temperatura del subsuelo en función de la profundidad y la época del año.

Donde:

- Azul: En invierno, a medida que profundizamos, la temperatura va aumentando hasta alcanzar un valor fijo de 10 °C.
- Roja: En verano ocurre lo contrario; a medida que profundizamos la temperatura desciende hasta los 10 °C.
- Verde y amarilla: En primavera y otoño las variaciones son menores, llegándose a alcanzar, en profundidad, el mismo valor de 10 °C

Este hecho es sumamente importante porque quiere decir que a partir de una determinada profundidad, la temperatura del subsuelo es constante, e independiente de la estación anual en la que nos encontremos y por supuesto, independiente de la hora del día o de la noche. Disponemos por ello, a unos pocos metros de nosotros, de una fuente de energía constante a lo largo de todo el año y accesible en todos los lugares.

Por lo tanto podemos afirmar que la temperatura en estos primeros metros de la corteza terrestre se mantiene a temperatura constante debido al efecto de las dos fuentes de calor que ya hemos mencionado:

- La energía procedente del sol.
- La energía terrestre (desintegración isotópica, calor inicial, movimientos diferenciales).

A medida que se profundice, mayor importancia adquiere la energía procedente del interior de la tierra. Sin embargo en las primeras decenas de metros el sol es una auténtica fuente de energía, que no solo calienta la superficie de la corteza terrestre, sino que calienta toda la atmósfera y por consiguiente las nubes y el agua de lluvia que se convierte de esta manera en un aporte extra de energía al subsuelo.

Está comprobado que cuando llueve, la temperatura del terreno aumenta ya que se está realizando un aporte de energía al subsuelo. Además, la humedad aportada al terreno aumentará su capacidad de conducción térmica, favoreciendo el intercambio entre captadores y terreno.

2.1.2 HISTORIA DE LA GEOTERMIA

La presencia de volcanes, géiseres, fuentes termales y otras manifestaciones termales como géiseres o fumarolas se han conocidos desde tiempos muy antiguos.

Sin embargo fueron los griegos y posteriormente los romanos los que dejaron numerosos ejemplos de la aplicación de la energía geotérmica para uso doméstico, como fueron las tradicionales termas y baños públicos.

En 1330 ya existía una red de distribución de agua caliente en algunas casas en Chaudes-Aigues, población de Francia con yacimientos de aguas termales.

En los siglos XVI y XVII se empezaron a realizar las primeras mediciones en pozos y minas de algunos cientos de metros de profundidad, que revelaron que la temperatura aumenta con la profundidad de forma general en todo el planeta.

A partir del siglo XIX, los avances técnicos y permitieron buscar cada vez a mayor profundidad, y explotar cada vez mejor el calor de la Tierra.

En 1911 se construyó la primera planta de producción de energía eléctrica mediante geotermia del mundo en Larderello, una ciudad de la Toscana.

Durante varias décadas continuó siendo el único lugar del mundo en el que la geotermia se utilizaba para la producción de electricidad además, de otros usos industriales y residenciales.

Durante esta época otros países como Japón, EEUU o Islandia, comenzaron a desarrollar sus recursos geotérmicos, realizándose en 1945 la primera instalación con bomba de calor geotérmica en una vivienda en Indianápolis, EE.UU.

Sin embargo, es tras la crisis energética de los años setenta cuando el interés por esta fuente de energía se desarrolla rápidamente en todo el mundo, y se inicia una intensa actividad de exploración e investigación de recursos geotérmicos con el objetivo de utilizarlos para la producción de energía eléctrica o para calefacción y agua caliente.

2.1.3 TIPOS DE ENERGÍA GEOTÉRMICA

Dependiendo de la entalpía del fluido geotermal, las aplicaciones serán distintas.

Por definición: "la entalpía es la cantidad de energía térmica de un fluido, o un objeto que puede intercambiar con su entorno".

Podemos considerar la entalpía y la temperatura, más o menos proporcionales, luego mediante sondas térmicas podemos estudiar el fluido para según qué aplicación queramos usarlo, ya que dicha temperatura es la que determina dicha utilidad.

Según los rangos de temperatura:

- Alta temperatura: más de 150 °C: Permitiría transformar el vapor de agua directamente en energía eléctrica.
- Media temperatura: entre 90 y 150°C: Mediante otro fluido de intercambio permite producir energía eléctrica.
- Baja temperatura: entre 30 y 90°C: Se podría utilizar para producción de energía eléctrica, pero sería más aplicable para climatización de edificios y en algunos procesos industriales.
- Muy baja temperatura: menos de 30°C: con el uso de bombas de calor puede ser utilizada para calefacción y climatización.

Las aplicaciones que se pueden dar a un fluido geotermal dependen de su contenido en calor, o lo que es lo mismo, de su entalpía.

Entalpía es la cantidad de energía térmica que un fluido, o un objeto, puede intercambiar con su entorno. Se expresa en kJ/kg o en kcal/kg.

La siguiente figura muestra los distintos usos que se le puede dar según el tipo de energía geotérmica.



Figura 3. Principales usos de la energía geotérmica en función de la temperatura.

Podemos observar en la figura que para usos relativos a la vivienda doméstica se utiliza energía geotérmica de baja y muy baja temperatura, quedando la energía de media y alta temperatura para su utilización en procesos industriales.

El uso de la energía geotérmica de forma directa en los edificios se dirige a la climatización (frio/calor) ya sea con bombas de calor o por circulación de agua, así como la producción de agua caliente sanitaria.

2.1.4 ENERGÍA GEOTÉRMICA DE BAJA ENTALPÍA. CALOR DE BAJA TEMPERATURA

La energía geotérmica de baja entalpía basa sus aplicaciones en la capacidad que el subsuelo posee de acumular calor y de mantener una temperatura sensiblemente constante, entre los 10 y 20 m de profundidad, a lo largo de todo el año (dicha temperatura rondará los 10°C variando en función de la zona). No ocurre así a menor profundidad donde es afectada por la temperatura ambiente.

Debido a que el contenido en calor de los recursos geotérmicos de baja entalpía es insuficiente para producir energía eléctrica, aquellos recursos con temperaturas por debajo de 100°C pueden ser utilizados para producción de agua caliente sanitaria y

climatización de edificios, además de procesos industriales y agroindustriales. Para ello se ayuda de un sistema de bomba de calor.

2.1.5 UTILIZACIÓN DIRECTA: RESIDENCIAL Y SERVICIOS

La energía térmica consumida en el sector residencial y de servicios se demanda a niveles térmicos relativamente bajos. Por ejemplo, el agua caliente sanitaria suele distribuirse a una temperatura comprendida entre los 35°C y 45°C y como temperaturas típicas en sistemas de calefacción, para el agua caliente de ida, pueden aceptarse 90°C en los radiadores de pared y superficies aleteadas convencionales, 60°C en los emisores de calor sobredimensionados y 35°C en los sistemas de suelo radiante y análogos.

Por otro lado, en este sector y para esta finalidad, suele consumirse electricidad, gasóleo, gas natural o gases licuados derivados del petróleo (propano y butano). Todas ellas son energías caras, no renovables y de alta calidad, que conviene ahorrar y sustituir por otras energías alternativas.

Estos usos requieren un tipo de energía geotérmica de baja temperatura, y en el mercado existen bombas de calor que permiten incrementar el potencial energético de los pozos e incluso

extraer calor de yacimientos de muy baja entalpía, que no serían explotables con métodos convencionales.

En este sector la utilización de la energía geotérmica, en general, consta de tres circuitos:

- Circuito primario: Formado por el equipo de bombeo y acondicionamiento del agua geotérmica (eliminación de sólidos, eliminación de gases, etc..), situado en la boca del pozo de extracción, un intercambiador de calor de placas, que transfiere el calor al circuito de distribución, y el sistema de reinyección de agua fría al yacimiento o descarga en aguas superficiales.
- Red de distribución. Formado por el sistema cerrado de tuberías, ida y retorno, para la distribución del agua caliente a los usuarios, equipo de bombeo y centralita de conexión con el usuario particular; comprende básicamente un intercambiador de calor y un contador del calor consumido. Es evidente que cuando el usuario sea único, su demanda de calor reducida y la producción del recurso geotérmico escasa, este circuito no existirá.
- Circuito de distribución privado. Normalmente desglosa en otros dos circuitos claramente diferenciados, ya que generalmente



trabajan a niveles térmicos distintos y regímenes de funcionamiento también distintos:

- o Un circuito abierto de agua caliente sanitaria (ACS) formado por un intercambiador de calor, un depósito acumulador, donde se prepara el agua procedente de la red pública hasta la temperatura deseada, para luego distribuirla a los puntos de consumo (cocina, baños, aseos, etc.) y un sistema de apoyo, si es necesario, para suplir la falta de calor geotérmico.
- o Un circuito cerrado de calefacción, formado por un intercambiador, las tuberías de distribución, emisores de calor y sistema de regulación y control.

2.2 DIFERENCIAS ENTRE OTROS SISTEMAS CONVENCIONALES

Para entender el concepto de calefacción y refrigeración geotérmica es preciso comprender primero el funcionamiento de una bomba de calor. Las bombas captan energía en un lado del circuito, para liberarlo en el otro, esto es lo mismo que decir que enfrían un lado a costa de calentar el otro. Un ejemplo típico son las máquinas de aire acondicionado instaladas en los hogares domésticos, basadas en el principio de refrigeración por compresión; cuando la máquina enfría, lo que sucede es que el fluido que circula por el circuito interior de la casa está absorbiendo calor del ambiente. Este fluido pasa después por un compresor, donde al aumentar la presión, aumenta mucho de temperatura, y pasa entonces al circuito exterior de la calle. Como ahora el fluido está muy caliente (más que el aire de del ambiente exterior) libera calor. Luego circula hasta una válvula donde, al expandirse, el fluido se vuelve a enfriar, y se reinicia el ciclo.

Cuanto mayor sea la temperatura exterior, el fluido podrá desprenderse de menos calor en el circuito exterior y, por tanto, el rendimiento de la máquina será peor. Ahí radica la ventaja de la geotermia.

La calefacción geotérmica es también una bomba de calor pero, en lugar de intercambiar calor con la atmósfera, lo hace con el terreno: En invierno, la

bomba de calor absorbe calor del terreno y lo libera en el edificio. En verano, absorbe calor del edificio y lo libera en el terreno.

La ventaja está en que la tierra mantiene una temperatura más constante a partir de pocos metros de profundidad. Esto permite un intercambio más eficiente de calor y, por tanto, menor consumo de energía. Expresándolo de otro modo: Al intercambiar más calor en un mismo ciclo, el compresor tiene que realizar menos ciclos (comprimir el fluido menos veces) y, por tanto, el consumo eléctrico es menor. También se dice entonces que el índice de rendimiento es mayor.

En el siguiente gráfico se observan las diferencias con otros sistemas.

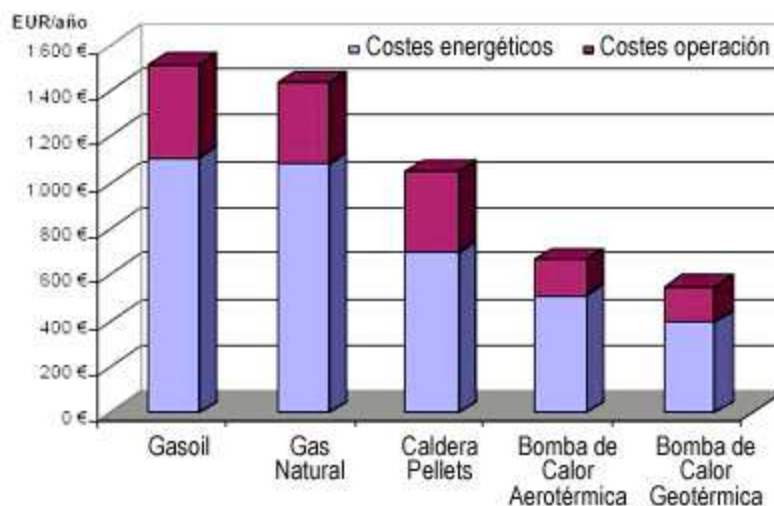


Figura 4. Diagrama de barras de los costes según el sistema de climatización utilizado.

La utilización de sistemas geotérmicos para calefacción y climatización de edificios puede conducir a importantes ahorros de energía. Comparados con

sistemas clásicos, se puede reducir el consumo de energía entre un 30% y un 70% en modo calefacción, y entre un 20% y un 95% en modo refrigeración; dependiendo dichos porcentajes de la correcta concepción y diseño del sistema en su conjunto y de su adecuada ejecución.

2.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS

2.3.1 VENTAJAS.

A continuación enumeramos las propiedades más destacables de la energía geotérmica.

- Energía renovable

Si lo medimos a la escala del planeta, la energía geotérmica es el recurso energético más grande que existe. Aunque la tierra se enfría, ya que desprende más calor que el que produce, lo hace a un ritmo muy lento; unos 130 °C cada mil millones de años, por lo que a escala humana el calor de la tierra es ilimitado.

- Energía limpia

Ninguna instalación que emplea energía geotérmica precisa quemar combustibles, por lo que no contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero.

Las instalaciones que emplean bombas de calor geotérmica para climatización y producción de agua caliente solo consumen energía eléctrica para el funcionamiento de los compresores eléctricos, las bombas de circulación y los ventiladores en el interior del edificio, por lo que las emisiones equivalentes a esa producción de electricidad en origen son muy inferiores a la de los sistemas tradicionales. Este concepto lo recoge el COP que veremos más adelante.

La cantidad media de CO₂ emitida por las centrales geotermoeléctricas en el mundo es de 55 g/kWh, mientras que una central de gas natural emite 10 veces más.

Las centrales geotérmicas eléctricas modernas son muy compactas, ocupan menor superficie que las nucleares o de carbón, además de que no necesita transporte ni almacén de combustibles, por lo que pueden ser integradas más fácilmente en el paisaje.

Como consecuencia del menor gasto energético, también se reduce la emisión de CO₂. Un estudio afirma que la utilización masiva de este sistema de calefacción en el sector residencial y servicios reduciría en un 6% la emisión global de CO₂ a la atmósfera.

- Energía económica

Un sistema con bomba de calor geotérmica para una casa individual supone un coste de inversión elevado, por regla general del doble de una instalación clásica de calefacción y refrigeración. Sin embargo, los costes de explotación son mucho más bajos que los de estos otros equipos, pues los costes de mantenimiento son generalmente muy reducidos y, fundamentalmente, porque su rendimiento energético elevado reduce el consumo de la energía que se paga a la compañía suministradora.

Siendo la inversión inicial elevada, el coste de explotación es bajo y cada vez será más competitivo con la explotación de las energías fósiles, donde los precios irán creciendo con el agotamiento de los recursos y las restricciones ambientales.

Aunque el dato sea probablemente exagerado, se anuncia un ahorro energético frente a la calefacción eléctrica del 75%, o lo que es lo mismo, que por 1kW ·h eléctrico consumido, se consigue el equivalente a 4kW ·h.

En el caso de la calefacción por gas natural, se anuncian ahorros que fluctúan entre el 32% y el 60%. Como la bomba mueve de 3 a 5 veces más energía que la electricidad que consume, la producción total neta es mucho mayor que el consumo. Esto da como resultado en eficiencias termales netas mayores del 100% para la mayoría de fuentes eléctricas. Las estufas de calefacción de combustión y los calentadores eléctricos, nunca pueden exceder del 100% de eficiencia, pero las bombas de calor proporcionan energía extra que extraen del suelo.

Además, por estos motivos, este sistema de calefacción ha sido catalogado como energía renovable en el libro blanco de las energías renovables de la

unión europea, y por tanto se puede beneficiar de los distintos programas de subvenciones existentes.

- Energía eficiente

Las instalaciones convencionales para climatización de edificios se diseñan generalmente para condiciones extremas. Gracias a la energía geotérmica, debido a la mayor estabilidad de las temperaturas del subsuelo, se podrán instalar bombas de calor de menor capacidad que si tuviesen que utilizar la temperatura ambiente exterior.

En climas con variaciones importantes de temperatura, las bombas de calor geotérmicas tienen mejores prestaciones que las bombas de calor que utilizan aire exterior, cuyo rendimiento baja considerablemente con las temperaturas extremas.

Un sistema geotérmico de climatización comparado con instalaciones clásicas permite ahorros de energía de 30 a 70% en calefacción y de 20 a 50% en climatización.

- Energía continua

La energía geotérmica, a diferencia de la energía solar, o la eólica, no depende del clima, de la radiación solar ni del viento. Está disponible 24 horas al día, 365 días al año.

- Energía para todo el mundo

A diferencia de las energías fósiles utilizadas hoy en día que se encuentran localizados en lugares concretos (desiertos, fondo del mar), los recursos geotérmicos están presentes en todos los continentes a disposición de la Humanidad.

- Energía local

Por su naturaleza, la energía geotérmica es una energía para consumir sobre el propio terreno. Reduce la dependencia de importaciones energéticas, y asegura la regularidad en el abastecimiento, a la vez que disminuye las pérdidas energéticas derivadas del transporte de electricidad y la contaminación que provoca el transporte por carretera.

- Durabilidad

La bomba de calor ya no está en contacto con el exterior, por lo que se alarga su vida útil. Se anuncian duraciones de entre 25 y 50 años.

- Acústicas

Ya no hay necesidad de colocar un compresor y ventiladores en el exterior, por lo que el sistema es mucho más silencioso.

- Estéticas

Por los mismos motivos. No se necesita un intercambiador exterior.

- Sanitarias

Se elimina el riesgo de legionelosis al no existir torres de condensación.

2.3.2 DESVENTAJAS

- Coste de instalación

El principal inconveniente de este sistema es su todavía elevado coste de instalación. Los fabricantes anuncian amortizaciones de entre 4 y 8 años, pero si se contrastan los datos disponibles, la inversión en una instalación geotérmica frente a una típica de gasóleo parece tardar en amortizarse en torno a los 15 años. No obstante, hay que tener en cuenta que la geotérmica elimina la necesidad de una segunda instalación de aire acondicionado, también se pueden considerar las ayudas y subvenciones a las que puede acogerse.

En general, se puede decir que este tipo de calefacción será tanto más idónea cuanto más grande sea el edificio, y mayor su tiempo de uso estimado. Factores ambos que limitarán la repercusión económica de la instalación.

Los costes de instalación de una Bomba de Calor Geotérmica son similares a los costes de instalación de sistemas convencionales (calderas de gasoil, gas,...), aunque hay que añadirle el coste del intercambiador subterráneo que no llevan éstos últimos. Sin embargo, los costes de mantenimiento y el consumo energético de la instalación geotérmica son mucho menores. La rentabilidad de un sistema de climatización geotérmica se basa en la obtención, de forma gratuita y durante los cincuenta años de vida estimada del intercambiador, de las 4/5 partes de la energía que aporta la bomba de Calor Geotérmica.

Para conseguir este ahorro es preciso realizar una mayor inversión inicial en la perforación de los pozos geotérmicos y en la instalación de las sondas por donde circula el líquido caloportador, por lo que resulta fundamental poner un especial cuidado y atención en el diseño y ejecución del campo de captación. De nada vale que la bomba de calor tenga una potencia elevada si las sondas no son capaces de aportar la energía calorífica demandada.

- Necesidad de espacio

Las instalaciones más económicas son las horizontales, pero exigen un espacio del que no siempre se dispone. Las instalaciones verticales, que soslayan el problema, tienen precios más elevados, y su justificación económica disminuye.

2.4 SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN GEOTÉRMICA

La instalación en un sistema doméstico puede aumentar en complejidad si además de usarse para climatización se utiliza para producción de ACS, climatización de piscinas, etc. También existen redes muy complejas que dan servicio a barrios o distritos, pero toda instalación consta fundamentalmente de estos tres elementos:

- Bomba de calor

Llamada Bomba de calor geotérmica (BCG) o por sus siglas en inglés (GHP). Existen monofásicas y trifásicas, así como monocompresor o multicompresor. Normalmente se ubica en un cuarto interior cerrado que transfiere el calor del intercambiador subterráneo al sistema de distribución del edificio.

- Circuito exterior

El que está en contacto con el terreno. Se trata de un intercambiador de calor subterráneo constituido por los pozos y sondas geotérmicas, que extrae el calor del subsuelo (en modo calefacción) o evacua el calor del inmueble (en modo refrigeración). El líquido que circula por el circuito suele ser agua o una mezcla de agua con anticongelante.

- Circuito interior

El que intercambia el calor con el interior del edificio. Puede ser por suelo radiante, fancoils, muro (también denominado zócalo) radiante, o incluso radiadores convencionales de aluminio. Un sistema de distribución (suelo radiante, fancoils, etc.) que encauza el calor o el frío a las diferentes estancias a climatizar.

2.4.1 TIPOLOGÍAS SEGÚN INSTALACIÓN

Se clasifican en función del circuito exterior

- Red horizontal

De extensión entre 1,5 y 2 veces la superficie a climatizar.

Según los distintos instaladores, la profundidad del circuito oscila entre los 60cm y los 5m, aunque lo habitual es que se entierren en torno a 1m. Esta instalación es menos eficiente, ya que a esta profundidad el terreno se ve afectado por la climatología, pero a cambio el coste de instalación es menor, lo que la hace más interesante desde el punto de vista económico. Si no se dispone de demasiado terreno, se puede colocar el tubo en espiral, en una disposición llamada "slinky". Los tubos pueden ser de polipropileno reticulado, polietileno rígido, o polietileno de baja densidad.

Por estos tubos circula agua con un anticongelante que, conectados a una bomba de calor geotérmica, pueden satisfacer las necesidades

de calefacción de una vivienda familiar de tipo medio, alrededor de 150 m².

Dependiendo de la altitud topográfica del terreno, las capas de tubos que forman los serpentines o bucles geotérmicos permiten obtener de 20 a 30 W de energía térmica por m² ocupado por el bucle.

- Red vertical

Si no se dispone de terreno para la red horizontal, si la capa de suelo no tiene espesor suficiente, si existen canalizaciones en el subsuelo, o si la demanda energética es mayor que la que pueden proporcionar los colectores horizontales. Más caro, pero se beneficia de una temperatura constante a lo largo del año. Si se baja a suficiente profundidad, el rendimiento de calefacción aumenta, ya que el gradiente de temperatura de la tierra es de 3 °C cada 100m³. Según los instaladores, se puede perforar desde 30m hasta 150m o incluso más. Estos dispositivos reciben el nombre de sondas geotérmicas.

Un ratio para el dimensionamiento de una sonda geotérmica es la potencia de extracción de calor por metro lineal de sonda, y varia, generalmente entre 20 y 70 W/m.

En el caso de requerir mayores potencias, como por ejemplo al tratarse de un edificio de grandes dimensiones, puede recurrirse al empleo de campos de sondas geotérmicas.



Para poder dimensionar una sonda geotérmica es necesario conocer previamente:

- Conductividad térmica del terreno,
- Humedad natural del suelo.
- Presencia o ausencia de aguas subterráneas.
- Tipo de prestaciones de la instalación.

La capacidad de las sondas geotérmicas verticales se puede determinar experimentalmente realizando test de respuesta térmica en uno o varios sondeos piloto.

- Circuito abierto

En presencia de un acuífero o de corrientes subterráneas, en lugar de recircular el fluido, se puede devolver el agua sobrante a la tierra. Esta opción es la más interesante desde un punto de vista económico.

Para evitar el enfriamiento continuo del agua subterránea, los sondeos de toma y restitución de agua deben situarse respectivamente aguas arriba y aguas abajo del fluido subterráneo.

- Cimientos geotérmicos



Cuando en una excavación se emplean pilotes, muros de contención, fabricados con hormigón armado, que se hincan en el terreno a profundidades comprendidas entre 10 y 40 m.

Se pueden aprovechar estas condiciones, basta con insertar en el interior una red de tubos de polietileno por los que circule agua con un anticongelante, y conectarlos en circuito cerrado con una bomba de calor o con una máquina de refrigeración.

2.5 BOMBAS DE CALOR

2.5.1 BOMBAS DE CALOR CONVENCIONALES

Una bomba de calor es una máquina que transfiere energía térmica desde una fuente fría (de bajo nivel térmico o baja temperatura) a otra más caliente (de nivel térmico más alto o de mayor temperatura).

A continuación se describe el ciclo de refrigeración de una bomba de calor:

1. En el evaporador la temperatura del fluido refrigerante se mantiene por debajo de la temperatura de la fuente de calor (foco frío), de esta manera el calor fluye de la fuente al fluido refrigerante propiciando la evaporación de éste.
2. En el compresor el vapor que sale del evaporador es comprimido elevando su presión y temperatura.
3. El vapor caliente accede al condensador. En este cambiador, el fluido cede el calor de condensación al medio.
4. Finalmente, el líquido a alta presión obtenido a la salida del condensador se expande mediante la válvula de expansión hasta alcanzar la presión y temperatura del evaporador. En este punto el fluido comienza de nuevo el ciclo accediendo al evaporador.

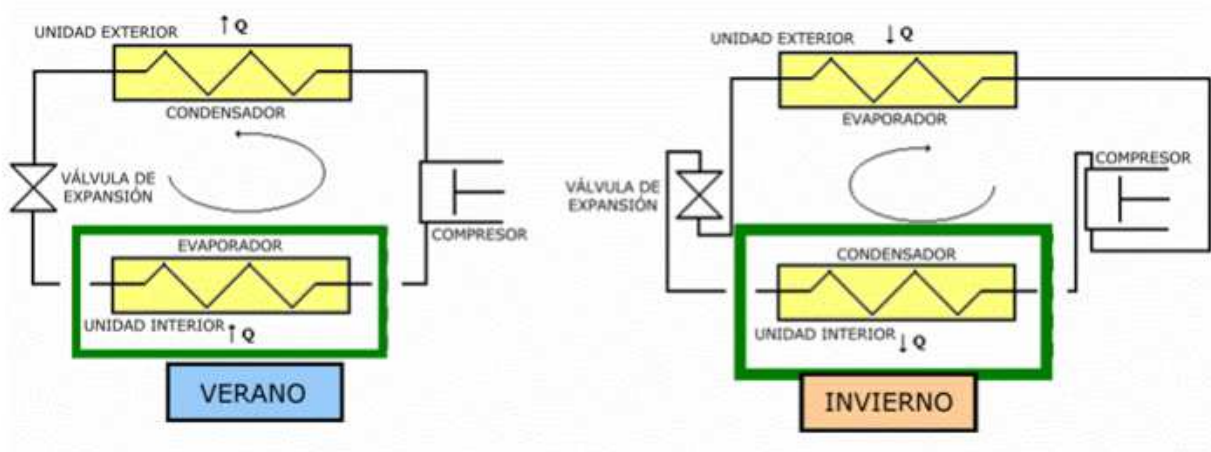


Figura 5. Esquema doble de funcionamiento del grupo evaporador-condensador. Ciclos verano e invierno.

En La figura anterior se representan los dos ciclos precisos para conseguir la climatización, con lo que necesitaríamos dos máquinas.

Existe la posibilidad de evitar acudir a dos máquinas aunando el proceso en una sola, como en los siguientes esquemas de funcionamiento.

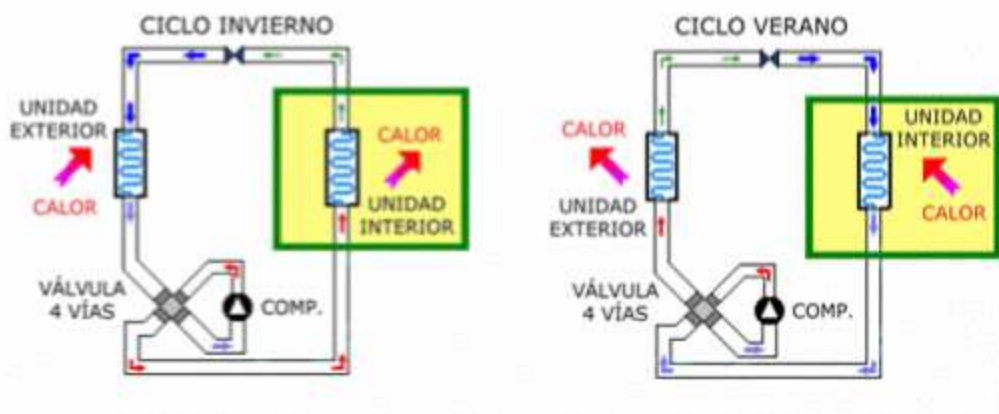


Figura 6. Funcionamiento de la bomba de calor reversible. Ciclos verano e invierno.

Como puede apreciarse, para suplir la necesidad de dos máquinas independientes, se precisa simplemente de una válvula de expansión de doble sentido y una válvula de cuatro vías a la salida del compresor que aunaría las dos funciones en un ciclo único. Esta válvula será la que se encargue de invertir el flujo del refrigerante; se accionaría por la propia presión del líquido refrigerante y estaría pilotada eléctricamente. La tubería superior sería la de descarga, mientras su enfrentada es la de aspiración y las otras dos van a las unidades interior y exterior. La situación de funcionamiento de esta válvula es la siguiente

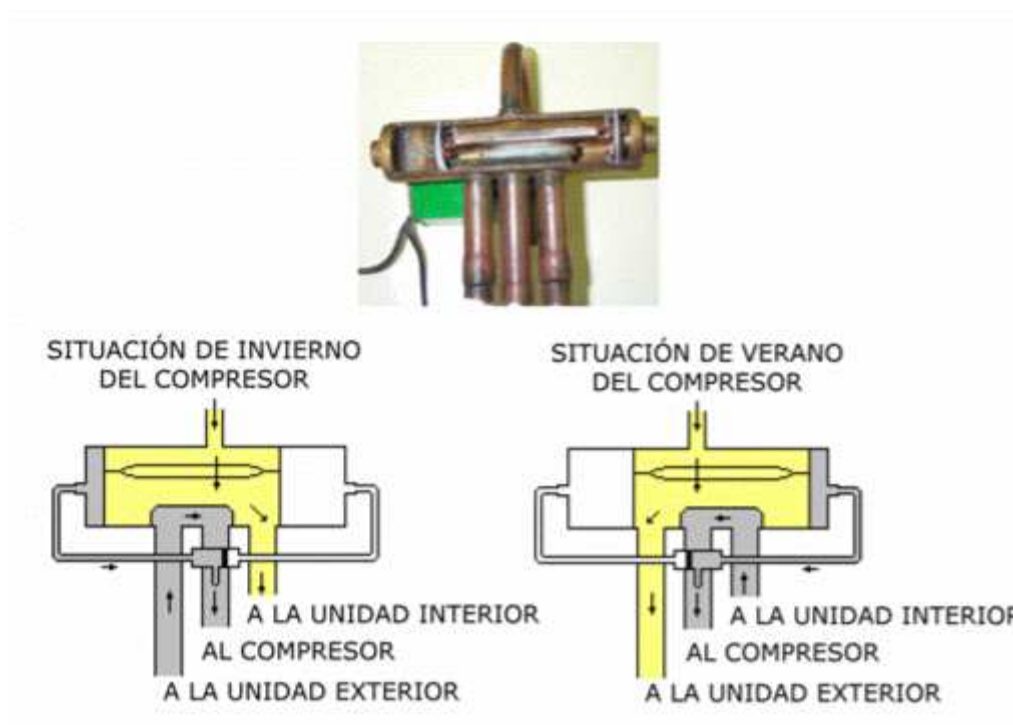


Figura 7. Sección de una válvula de cuatro vías y situación de verano e invierno de la misma.

Con este sistema se consigue reducir a una sola máquina las dos funciones de la bomba de calor, invirtiendo el sentido de circulación del refrigerante y alternando las funciones del grupo compresor-evaporador, que configuran el mecanismo de una bomba de calor convencional.

Esta bomba es una bomba convencional, denominada aire-aire, pues en ella, tanto el foco frío (medio exterior de intercambio de calor), como el foco interior de intercambio de calor, (punto de demanda), están constituidos por aire, bien el atmosférico, en el primer caso, bien el interior a climatizar en el segundo.

Estas bombas de calor requieren, aparte del consumo eléctrico en bombas de circulación, un aporte exterior de energía calorífica, en la que el calor aportado al refrigerante del circuito secundario proviene de un fuente eléctrica (puede ser aportada desde la combustión de carburantes convencionales fósiles). Este calentamiento produce, en última instancia, una conducción de calor hacia el punto de demanda, donde una corriente de aire se encarga de disiparlo en el habitáculo a calentar.

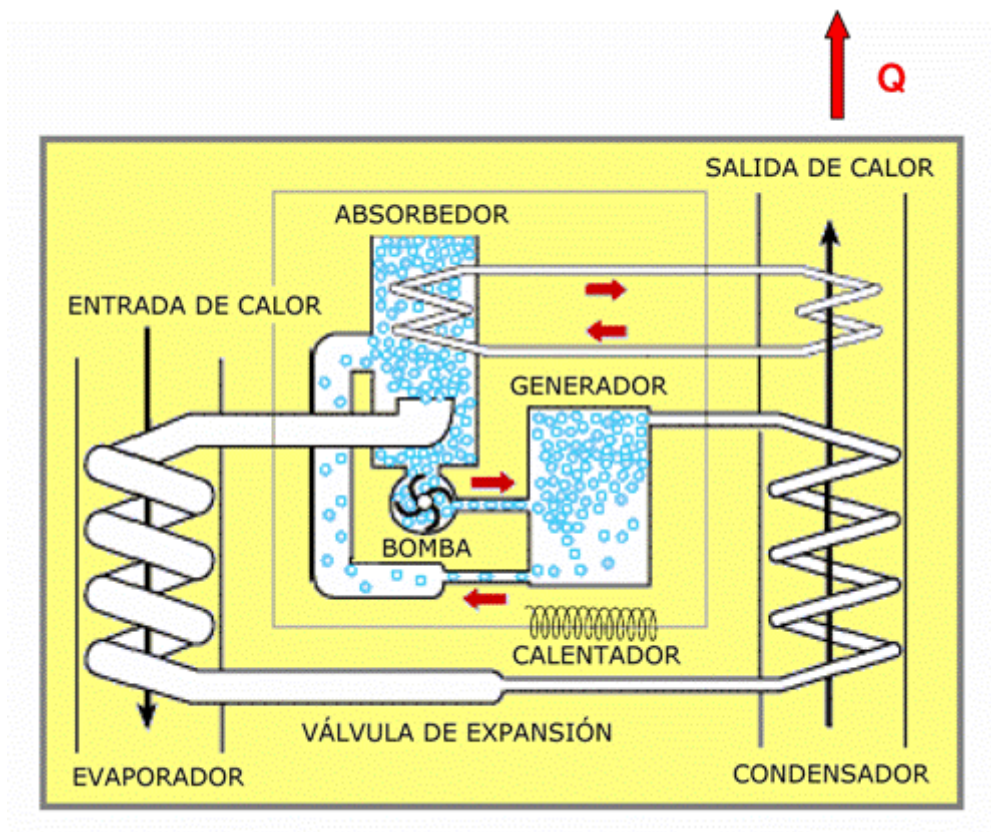


Figura 8. Esquema de funcionamiento de una bomba de calor de absorción aire-aire.

2.5.2 BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA

En las aplicaciones geotérmicas de muy baja temperatura, se extrae el calor del subsuelo terrestre, para poder calentar un fluido de alta compresibilidad y bajo punto de vaporización, al objeto de transmitir ese calor a una instalación en invierno, invirtiendo el proceso en verano.

Así mismo, en las bombas de calor convencionales, el ambiente exterior es el existente en la atmósfera. Sin embargo, en el caso del

aporte de la energía geotérmica, el ambiente exterior sería la instalación bajo la superficie.

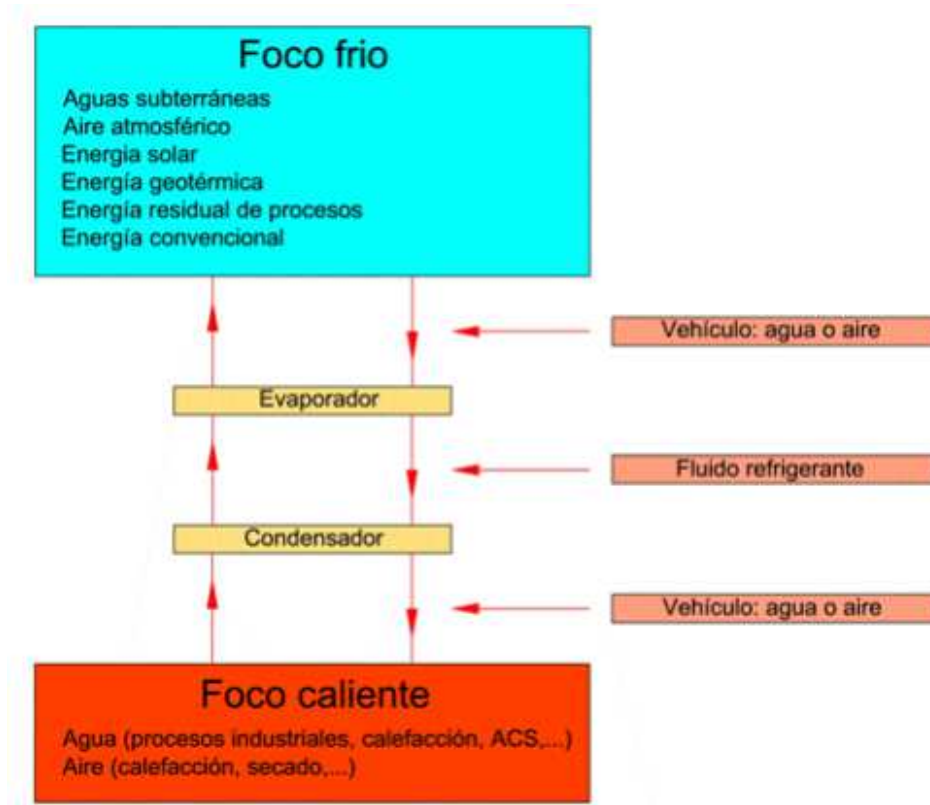


Figura 9. Diferentes posibilidades de foco frío para bomba de calor.

La bomba de calor geotérmica, GHP (GeothermalHeatPump), tiene su aplicación fundamental en instalaciones domésticas y comerciales, para agua caliente sanitaria y calefacción, de pequeña y mediana potencia. Con ella se soslayan los inconvenientes citados al hablar de las bombas de calor con intercambio final con la atmósfera. En las GHP, los inconvenientes de formación de escarcha en el evaporador desaparecen y, de forma intuitiva, se aprecia que el rendimiento mejorará al absorber calor de un medio menos frío (el terreno) que en las bombas de calor convencionales (el aire atmosférico) en invierno, y

viceversa en verano. En efecto, es más fácil absorber calor del terreno, a una temperatura casi constante con la estación, que al aire frío de la atmósfera invernal.

En la siguiente tabla puede observarse unos datos correspondientes al año 2004, que muestran la implantación de este sistema de bombas de calor geotérmicas en diversos países.

País	Población x (10 ⁴)	Nº GHP's	Producción anual (TJ)	Potencia instalada (MW _t)	Producción por habitante anual (MJ)	Potencia media unitaria (kW _t)
Suecia	9	200.000	28.800	2.000	3.200	10,00
EE. UU.	294	500.000	13.392	3.720	46	7,44
Alemania	82	51.000	4.212	780	51	15,29
Canadá	32	36.000	1.080	435	34	12,08
Suiza	7	27.000	2.268	420	324	15,56
Austria	8	23.000	1.332	275	167	11,96
TOTAL	432	837.000	51.084	7.630	3.822	9,12

Tabla 1. Principales países con bombas de calor geotérmicas.
(Fuente: GeothermalEnergy. Clauser, C. 2006.)

Como se puede apreciar en la tabla, el número de GHPs instaladas es considerable, más de 800.000 unidades, solamente en los países referenciados como más importantes en el uso de la energía geotérmica de muy baja temperatura. También hay que hacer notar la potencia térmica media instalada por bomba es de poco más de 9 kWt en el conjunto en Alemania y Suiza se supera la media de potencia por bomba con creces, lo cual indica un alto porcentaje de

bombas de calor para instalaciones superiores al ámbito unifamiliar. En cambio, en EEUU la media no alcanza en absoluto la del conjunto mundial, lo cual hace pensar en una mayoría de pequeñas bombas de uso en pequeñas viviendas unifamiliares.

Otro dato destacable de la tabla anterior es la producción por habitante del conjunto de energía térmica derivada de las bombas de calor, con un máximo para Suecia, mientras en EEUU, con doble número de bombas de calor geotérmicas, se encuentran prácticamente al final de la clasificación en producción por habitante. Esto responde a la realidad de que no se precisa la misma energía térmica doméstica en el clima medio de los EEUU que la que precisa una gran mayoría de habitantes en Suecia.

2.5.2.1 RENDIMIENTO DE UNA BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA

Más adelante se profundizará en el concepto del Coeficiente de Eficiencia Energética, aunque se puede decir que;

Para formular las ecuaciones que reflejen el rendimiento de la máquina, consideraremos los elementos que se han enunciado en el apartado 2.5.1. El balance de energía alrededor de la máquina permite formular:

$$P_e + P_E = P_C + P_P \quad (1)$$

Donde

P_e = Potencia eléctrica consumida en la operación.

P_E = Potencia frigorífica (calor extraído del exterior)

P_C = Potencia térmica (calor cedido al exterior)

P_p = Potencia perdida, debida a rozamientos e imperfecciones.

La eficiencia de la máquina se expresa por medio de un coeficiente internacionalmente aceptado, conocido como COP (Coefficient of Performance), y que se define como el cociente entre la energía útil obtenida de la máquina y la energía de todo tipo que dicha máquina ha consumido en el proceso. Si se considera la máquina como productora de frío, determinaremos su eficiencia frigorífica, mientras que si la consideramos productora de calor, se obtendrá una eficiencia térmica.

COP frigorífico

$$\text{COP}_f = P_E / P_e \quad (2)$$

COP térmico

$$\text{COP}_t = P_C / P_e \quad (3)$$

En los catálogos de los fabricantes figura el COP nominal de la máquina funcionando en régimen estacionario y trabajando entre unas temperaturas determinadas del fluido frío y del fluido caliente. Hay que tener en cuenta que, fuera de las condiciones nominales

especificadas, la eficiencia podría ser muy distinta y que su valor medio estacional será menor, puesto que, durante muchas horas a lo largo del año, funcionará a carga parcial.

Del rendimiento que se obtiene en las prestaciones más extendidas de las GPH's, se pueden desprender las siguientes consideraciones:

- Régimen de calefacción. El COP_f depende, en gran medida, de la temperatura del recurso geotérmico pero, en líneas generales, su valor suele estar comprendido entre 3 y 4, pudiendo llegar a 5. Para la gran mayoría de los equipos, la temperatura máxima de agua caliente es de 50 °C, con un salto térmico entre ida y retorno de 5 °C. Si la calefacción es por generación de aire caliente y difusión por convección, la temperatura de suministro suele estar comprendida entre 32 °C y 40 °C.
- Régimen de refrigeración. El valor del COP_f suele situarse entre 2,5 y 3,5 y, en cuanto a las condiciones de producción de frío, suelen distinguirse dos posibilidades más extendidas: máquina de expansión directa, en la que el aire del recinto a climatizar pasa directamente a través del evaporador; y máquina enfriadora de agua, en la cual el evaporador enfría agua que luego se distribuye a los climatizadores locales.

En el primer caso, las condiciones nominales del aire interior suelen ser de 25 °C y alrededor del 50% de humedad relativa. Por el contrario, las condiciones nominales de las enfriadoras de agua suelen ser del orden de 9 °C para la temperatura de impulsión y 5 °C de salto térmico entre impulsión y retorno.

2.5.3 SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE ENERGÍA GEOTÉRMICA DE MUY BAJA TEMPERATURA

En el intercambio general de calor en una GHP, como ya se ha visto anteriormente, y simplificando de nuevo el proceso, un intercambiador de calor está conectado al circuito de climatización o ACS (en el interior) y el otro está conectado al lado geotérmico (en el exterior).

La válvula de cuatro vías dirige la circulación del fluido refrigerante en un sentido o en otro, en función del régimen de funcionamiento; en calefacción, el intercambiador interior funciona como condensador y el exterior como evaporador, invirtiéndose los papeles en régimen de refrigeración.

Al final del circuito de distribución se encuentran los puntos de demanda, donde debe ser entregado el calor (o el frío) a los recintos de consumo. La gran variedad de casos posibles de entrega final dependen de cada aplicación particular, siendo los más extendidos los de calefacción/refrigeración de locales, bien privados (viviendas), bien oficinas o dependencias industriales o, incluso, de concentración de viviendas (edificios completos). Estos puntos de demanda serán el

punto de partida para el dimensionamiento de un sistema de aprovechamiento de la energía geotérmica de muy baja temperatura.

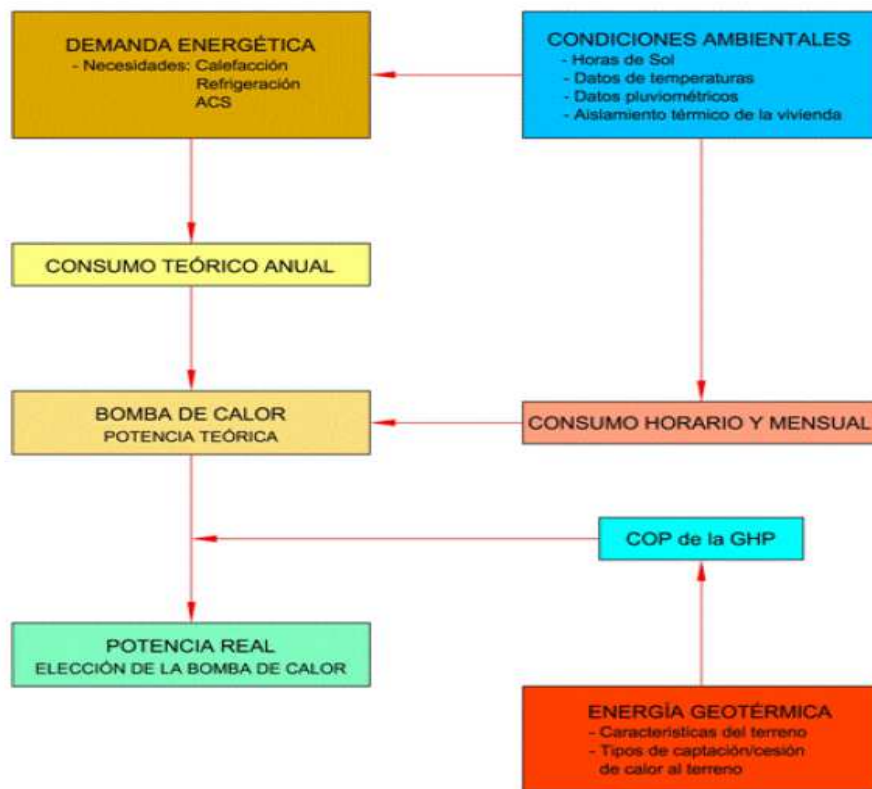


Figura 10. Etapas para el dimensionamiento de una bomba de calor geotérmica.

Siguiendo el esquema que aparece en la figura 10, el primer paso será determinar el consumo térmico en los puntos de demanda, bien en los distintos puntos de calefacción, en el agua caliente sanitaria o en los de refrigeración. Este consumo dependerá de la climatología del emplazamiento, de la orientación del inmueble y su situación (horas de sol) y de la forma de entrega final del calor o el frío (intercambiadores finales de calor o frío), con sus rendimientos correspondientes.

Este consumo, dividido por el número de horas de funcionamiento, bien en cada caso (refrigeración, calefacción, producción de ACS), o bien mediante tablas de consumo medio por superficie habitable, según las circunstancias climatológicas mencionadas, proporcionará la potencia media o/y en puntas que la instalación de la GHP precisará.

Hoy día, con la expansión que estos sistemas están teniendo en todo el mundo, el mercado dispone de tablas y ábacos que determinan la potencia necesaria del equipo en función de las características citadas.

La potencia requerida que acaba de ser calculada, en cualquier caso, responde a los parámetros empleados y proporciona unos resultados teóricos. En efecto, una bomba de calor geotérmica, diseñada para una potencia máxima, tendrá unos resultados prácticos que dependerán del rendimiento de dicha bomba, el cual depende a su vez de varias condiciones exteriores, principalmente de la temperatura del foco frío. Y esa temperatura es la que el sistema obtiene de la fuente de energía geotérmica.

Es bastante evidente el papel que los intercambiadores de calor primarios, que más bien se podrían definir como captadores del calor geotérmico, juegan en el rendimiento del sistema, en cualquiera de sus versiones de funcionamiento, con más trascendencia en el caso de la refrigeración, al ser más reducido su COP, lo que obliga a prestar más atención a dichos intercambiadores exteriores.

En efecto, la capacidad de intercambiar calor con la fuente de energía geotérmica, dependerá de las características del terreno, como ya se ha visto con anterioridad, pero éstas son las que la naturaleza ha impuesto y deben considerarse inamovibles. Lo que sí puede modificarse es la capacidad del intercambiador para absorber o ceder el calor, y éste dependerá de las necesidades de la bomba de calor geotérmica calculadas y de su rendimiento (COP).

En realidad, dos son las variables que influirán en la optimización del intercambio de calor en los captadores:

- El material de fabricación de los mismos. Quizás la mejor conductividad de calor conocida sea la de materiales metálicos; pero, al estar constituidos los captadores por simples tubos, generalmente de poca sección para mejorar el contacto del fluido con las paredes de dicho tubo, los problemas de corrosión que la agresividad del terreno produce, supondrían un elevado coste de mantenimiento. Por ello, y dada la amplia gama de variedades de plásticos derivados del petróleo en el mercado, se elige en la mayoría de los casos, un intercambiador del tipo PVC o alguno de la familia de los propilenos, que une una buena conducción del calor a una flexibilidad que facilita su instalación.
- Otra variable, o mejor expresado, un par de variables interrelacionadas, como son el tiempo de contacto del

intercambiador con el terreno y la superficie de contacto con el mismo, serán determinantes para el dimensionamiento de los captadores. Para una cantidad determinada de calor a intercambiar, a mayor tiempo de intercambio, menor superficie será precisa y viceversa.

En realidad, los tubos captadores son de una sección estándar por razones de mercado, y las dos variables tiempo-superficie de contacto, se añaden en el cálculo de la longitud del tubo captador.

Esta longitud será una función del calor capaz de ser absorbido o cedido por el terreno, de las temperaturas del suelo y del fluido intercambiador, de la resistencia térmica del terreno y de las características conductivas del material del que está compuesto el tubo captador.

Puede formularse una función F , tal que:

$$L_{\text{cap}} = F(Q, T_s, T_f, \text{Cap}, R_s) \quad (4)$$

Donde

L_{cap} = Longitud del captador de calor (superficie/tiempo de contacto).

Q = Calor a disipar o captar por el terreno.

T_s = Temperatura del suelo.

T_f = Temperatura del fluido de intercambio, generalmente aguaglicolada.

Cap = Morfología y tipo del material captador.

R_s = Resistencia térmica del terreno (inversa de la conductividad térmica).

En cada caso, y para cada aplicación, puede ser más conveniente un tipo de tubos captadores que otro, de las muchas variedades que existen en el mercado, dependiendo el diseño final de las variables que se acaban de exponer.

Por último, el precio del sistema elegido de tubos captadores, será el que decida la opción más adecuada. Es interesante hacer constar que, en la mayoría de los casos, no será el precio unitario de los materiales o su cantidad lo que rentabilice un tipo de intercambio u otro.

La sencillez de instalación sobre el terreno y la posibilidad de aprovechar otras obras para instalar la red de captadores, pueden ser los factores decisivos para la elección del sistema pues, en suma, estas últimas constituyen la partida más importante del presupuesto de la inversión económica del proyecto.



Capítulo III

Datos de partida

3.1 SITUACIÓN DEL EDIFICIO

El edificio objeto de estudio está situado en Calle de Casalarreina, Madrid.



Figura 11. Ubicación del edificio.

Zona climática:



Figura 12. Zonas climáticas.

La zona climática hace referencia al cálculo de la carga térmica, ya que el CTE fija unos valores límite de transmitancia térmica para evitar descompensaciones entre la calidad térmica de diferentes espacios.

La zona climática del mapa, como vemos en la figura, correspondiente a Madrid es la III. Del apéndice B del documento DB HE (Ahorro de energía) del CTE obtenemos la zona climática de la localidad: D3.

3.2 DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

Se trata de un edificio destinado a la atención de personas que se encuentren en proceso de recuperación de un proceso agudo y con pérdida de autonomía potencialmente recuperable, que puedan beneficiarse de una terapia de rehabilitación integral, o bien, personas con patologías crónicas con frecuentes descompensaciones que originen limitación severa en su vida independiente. Por tanto, se desarrollan en este edificio las actividades propias de un centro de asistencia médica y de convalecencia, tanto ambulatoria como hospitalaria, con todos los servicios asociados al mismo, siendo preciso la consecución de unas estrictas directrices en cuanto al sistema de climatización y ventilación.

El edificio se desarrolla en plantas B+2, con una planta de sótano, creándose un nuevo vial de servicio para el personal y servicio de mantenimiento del centro, que bordea el mismo hasta la entrada del sótano a través de una rampa.

En Planta Baja, accesible desde el nivel de la calle, se encuentra el acceso, la zona de admisión, zona de administración, así como las diferentes consultas, despachos, farmacia y salas de rehabilitación y fisioterapia del centro. Cuenta con un acceso independiente de ambulancias, de forma que no se crucen las circulaciones entre visitas y usuarios del centro.

En planta primera y segunda se ubican las habitaciones. Todas dobles excepto una individual en planta segunda. Además, se disponen los espacios de estar de familiares y pacientes, terrazas exteriores, así como la zona de enfermería de planta que incluye todos los almacenes necesarios para el correcto funcionamiento del centro. En planta primera, además, se ubica un baño geriátrico para personas de enfermedades crónicas o agudas.

La planta sótano se dedica principalmente a espacios servidores y cuartos técnicos. Se dispone en esta planta de los centros de bombeo, cuadros generales de las instalaciones eléctricas, centro de transformación, cuarto de comunicaciones y cuarto para equipo de vacío. Se dispone además de los espacios utilizados por el personal como los vestuarios, cocina, almacenes de lencería, almacenes de farmacia, archivos de historias clínicas y similares. En esta planta sótano

se localiza también la radiología, así como el túmulo y una sala de familiares. Se dispone de una rampa que permite el acceso rodado hasta planta sótano de suministros, recogida de residuos, lencería sucia, y otros.

Parte de los espacios de planta sótano están iluminados y ventilados a través de patios ingleses que en planta baja proporcionan privacidad a los distintos despachos, salas y aseos.

En planta cubierta se ubica el resto de las instalaciones. Además se dispone de una terraza / solárium para el uso de pacientes y de familiares.

Las superficies totales construidas las que se muestran en la tabla a continuación:

PLANTA	SUPERFICIE CONSTRUIDA(m ²)
PLANTA CUBIERTA	180,00
PLANTA SEGUNDA	1113,00
PLANTA PRIMERA	1.140,00
PLANTA BAJA	1.096,00
PLANTA SÓTANO	1.016,00
TOTAL	3.432

Tabla 2. Superficies del edificio.

Planta sótano:

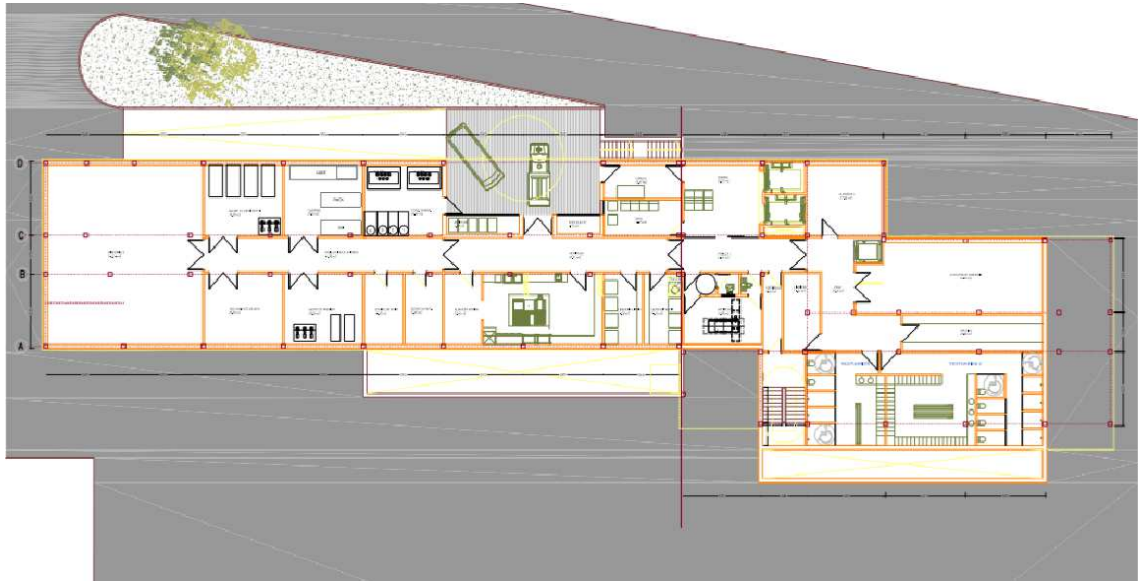


Figura 13. Planta sótano del edificio.

Planta baja:

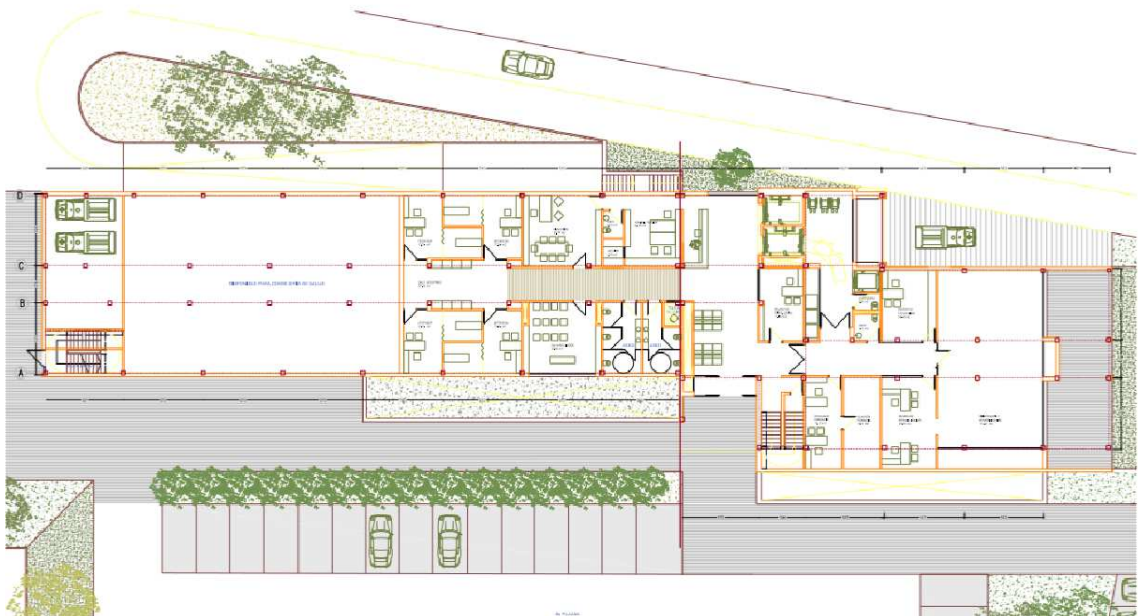


Figura 14. Planta baja del edificio.

Planta primera:

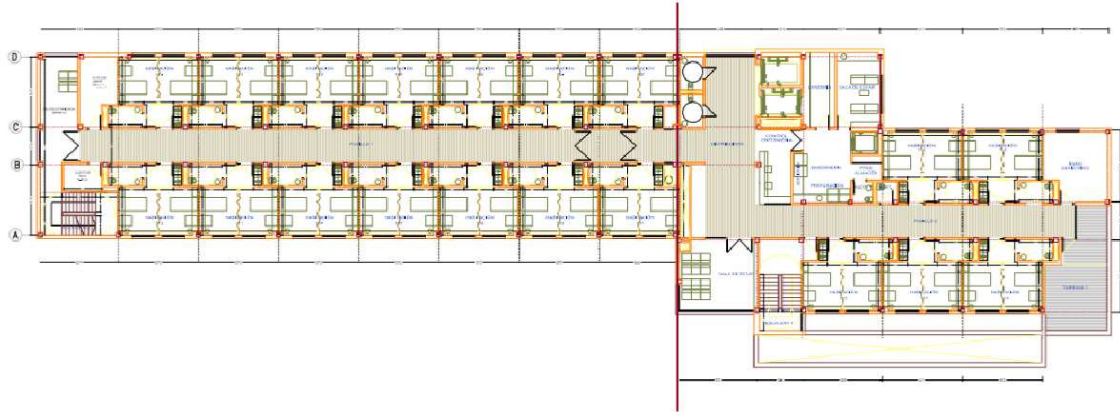


Figura 15. Planta primera del edificio.

Planta segunda:

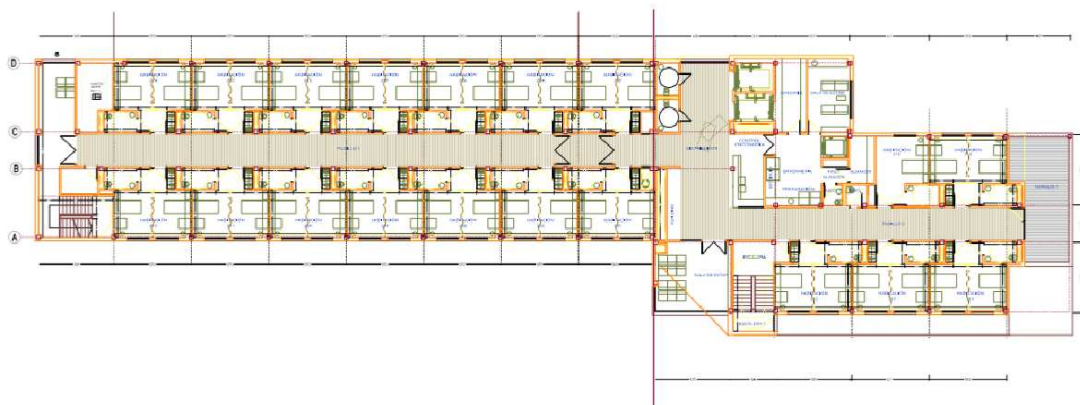


Figura 16. Planta segunda del edificio.

Planta cubierta:

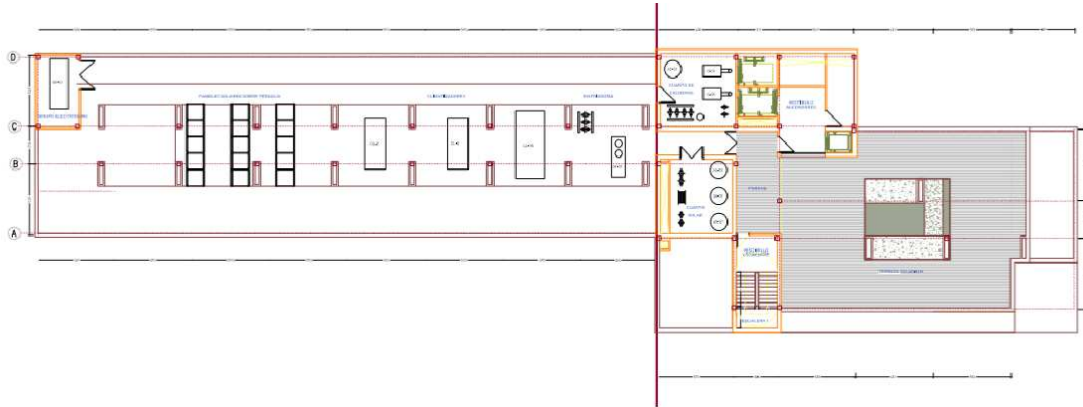


Figura 17. Planta cubierta del edificio.



Capítulo IV

Cargas térmicas

4.1 INTRODUCCIÓN

Cuando se diseña una instalación térmica, ya sea para refrigerar o calefactar la misma, lo primero que hay que calcular, del modo más preciso y eficaz posible, es la potencia térmica necesaria para cubrir la demanda de frío y/o de calor que requerirá dicha instalación. Para ello es necesario hacer un balance de pérdidas y ganancias de calor, tanto sensibles como latentes. Dicho balance es conocido como el cálculo de cargas térmicas del edificio.

4.2 CONDICIONES DE DISEÑO

La carga térmica depende del tipo de instalación que se desee diseñar, de su localización, de las características de los cerramientos y de las condiciones medioambientales en las que se diseña la instalación.

Las condiciones técnicas necesarias para el cálculo de cargas térmicas se encuentran recogidas en el Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE) y en el Código Técnico de Edificación (CTE).

4.2.1 CONDICIONES DEL AMBIENTE TÉRMICO INTERIOR

Las variables que se deben estudiar para conseguir las condiciones de confort son las siguientes:

- Temperatura seca.
- Humedad relativa.
- Calidad del aire interior.
- Nivel de ruido.
- Velocidad del aire.

Las condiciones interiores de diseño son las representadas en la siguiente tabla.

Estación	Temperatura operativa	Humedad relativa
	° C	%
Verano	23...25	45...60
Invierno	21...23	40...50

Tabla 3. Condiciones interiores de diseño.
(Fuente: RITE)

4.2.2 AMBIENTE EXTERIOR

El ambiente exterior de una localidad viene definido por la temperatura seca, la temperatura húmeda, la velocidad del viento y su dirección. También la radiación solar es una variable importante a estudiar. Hay que tener en cuenta que todas estas variables no son constantes en el tiempo. Los datos necesarios para definir el ambiente

exterior de una instalación no son iguales para el invierno que para el verano, por ello se realiza la siguiente división:

Las condiciones del ambiente exterior para el verano y la refrigeración se definen mediante:

- La temperatura seca exterior.
- La temperatura húmeda exterior.
- La radiación solar.
- La temperatura del suelo.

Las condiciones del ambiente exterior para el invierno y la calefacción se definen mediante:

- La temperatura seca exterior.
- La radiación solar.
- La temperatura del suelo.
- La humedad relativa (HR) exterior.

4.3 CLASIFICACIÓN Y METODOLOGÍA DEL CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS

Al diseñar una instalación térmica es necesario determinar, del modo más preciso posible, la potencia térmica necesaria para cubrir la demanda de la instalación. Para ello es necesario efectuar un balance de pérdidas y ganancias de calor, entre el interior de la zona a tratar y

el exterior o zonas no habitables. Este balance se conoce bajo el nombre de cálculo de cargas térmicas.

La carga térmica se divide en dos componentes, carga térmica sensible y carga térmica latente. Se define carga térmica sensible como todo fenómeno que tiende a modificar la temperatura interior del local y carga térmica latente como aquella en la que se modifica la cantidad de vapor de agua contenido en el local.

Las cargas térmicas que se calculan para una instalación de refrigeración son las siguientes:

- Cargas térmicas exteriores:
 - Cargas térmicas a través de paredes suelos y techos.
 - Cargas térmicas a través de superficies acristaladas.
 - Cargas térmicas debidas a la ventilación.
 - Carga térmica por infiltraciones.
- Cargas térmicas interiores:
 - Ocupantes.
 - Iluminación.

Las cargas térmicas que se calculan para una instalación de calefacción son básicamente las mismas, pero para el cálculo de la carga máxima no se consideran los efectos de la radiación a través de las superficies acristaladas y las cargas térmicas interiores se consideran ganancias y no pérdidas:

- Cargas térmicas exteriores:
 - Cargas térmicas a través de paredes suelos y techos.
 - Cargas térmicas a través de superficies acristaladas.
 - Cargas térmicas debidas a la ventilación.
 - Carga térmica por infiltraciones.

4.4 CARGAS TÉRMICAS DE CLIMATIZACIÓN

Las condiciones de diseño interiores de confort son las definidas anteriormente.

Para el caso de climatización en verano se tiene una temperatura de confort igual a 26°C y una humedad relativa del interior del local del 55 %.

Los meses, que en media, tienen temperaturas más elevadas son junio, julio, agosto y septiembre, es por ello, que se decide que la instalación de climatización se utiliza en esta época. Los cálculos de las cargas térmicas de climatización se realizan considerando estos meses.

Para las condiciones exteriores de diseño se toma la media de las temperaturas máximas en los meses de verano. La temperatura exterior de diseño considerada y el valor de humedad relativa son las siguientes.

T ext. (°C)	38,6
HR (%)	42

Tabla 4. Datos de temperaturas del año 2010 en Madrid.

(Fuente: Universidad Carlos III de Madrid)

4.4.1 CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS DE TRANSMISIÓN

Estas cargas se refieren a ganancias de calor que se obtienen por transmisión a través de los cerramientos de los locales debido a la diferencia de temperatura entre el exterior y el interior.

El cálculo de cargas térmicas de transmisión se realiza mediante la siguiente expresión:

$$Q_{TRANSMISIÓN} = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (5)$$

Donde

$Q_{TRANSMISIÓN}$ = Carga térmica de transmisión [W].

U = Coeficiente global de transferencia de calor [W/m² K].

A = Área a través del que se produce el flujo de calor [m²].

ΔT = Diferencia de temperatura entre el exterior y el interior [K].

Para el cálculo del coeficiente global de transferencia de calor se hace uso del Código Técnico de la Edificación, en el cual aparecen datos de los coeficientes convectivos y conductividades térmicas de los diferentes elementos que conforman las paredes, techo y suelo.

El coeficiente global de transferencia de calor se define mediante la siguiente expresión:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{int}} + \sum \frac{e_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_{ext}}} \quad (6)$$

Donde:

h_{int} = Coeficiente de convección interior [W/ m²K].

e_i = Espesor del cerramiento i [m].

λ_i = Conductividad térmica del cerramiento i [W/ mK].

h_{ext} = Coeficiente de convección exterior [W/ m²K].

Las resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en m²·K/W son las definidas en el CTE.

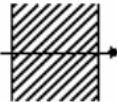
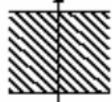
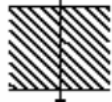
Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		Rse	Rsi
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal >60° y flujo horizontal		0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal ≤60° y flujo ascendente		0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente		0,04	0,17

Figura 18. Fuente CTE. Ahorro energético.

Las resistencias térmicas superficiales de particiones interiores en m²·K/W son las definidas en el CTE.

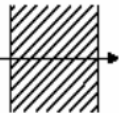
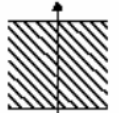

Posición de la <i>partición interior</i> y sentido del flujo de calor	R_{se}	R_{si}
<i>Particiones interiores</i> verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo horizontal 	0,13	0,13
<i>Particiones interiores</i> horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente 	0,10	0,10
<i>Particiones interiores</i> horizontales y flujo descendente 	0,17	0,17

Figura 19. Fuente CTE. Ahorro energético.

4.4.1.1 CÁLCULO DEL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR

A continuación se calcula el coeficiente global para los diferentes cerramientos del edificio, como son: fachada, tabiques interiores, cubierta invertida, cubierta transitable, forjado entre plantas, solera, muro enterrado y ventanas. Se muestra una tabla con los distintos valores calculados según la fórmula anterior.

Nombre	U (W/ m ² K)	Material	Espesor (m)
FACHADA	0,31	Barrera vapor	0,005
		MW Lana mineral [0.031 W/[mK]]	0,040
		Cámara de aire sin ventilar vertical 1 cm	0,000
		MW Lana mineral [0.031	

		W/[mK]] Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900	0,040 0,030
TABIQUE INTERIOR	0,53	Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900 MW Lana mineral [0.04 W/[mK]] Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900	0,030 0,060 0,030
CUBIERTA INVERTIDA	0,38	Arena y grava [1700 < d < 2200] Subcapa fieltro EPS Poliestireno Expandido [0.037 W/[mK]] Polietileno baja densidad [LDPE] FU Entrevigado de hormigón - Canto 300 mm	0,070 0,005 0,080 0,005 0,300
CUBIERTA TRANSITABLE	0,37	LOSA FILTRON Subcapa fieltro EPS Poliestireno Expandido [0.037 W/[mK]] Polietileno baja densidad [LDPE] FU Entrevigado de hormigón - Canto 300 mm	0,065 0,005 0,080 0,005 0,300
FORJADO	0,59	Granito [2500 < d < 2700]	0,030



PLANTAS		Mortero de cemento o cal para albañilería y para EPS Poliestireno Expandido [0.037 W/[mK]] FU Entrevigado de hormigón - Canto 300 mm	0,050 0,045 0,300
SOLERA	2,61	Granito [2500 < d < 2700] Mortero de cemento o cal para albañilería y para Hormigón armado 2300 < d < 2500 Arena y grava [1700 < d < 2200]	0,030 0,050 0,150 0,150
MURO ENTERRADO	0,43	EPS Poliestireno Expandido [0.037 W/[mK]] Polietileno baja densidad [LDPE] Hormigón armado 2300 < d < 2500 EPS Poliestireno Expandido [0.037 W/[mK]] Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900	0,030 0,010 0,300 0,040 0,030

Nombre	U (W/ m2K)	Factor Solar
VIDRIO	2,00	0,36

Tabla 5. Fuente: programa LIDER del CTE.

4.4.2 CARGAS TÉRMICAS DEBIDAS A LA VENTILACIÓN

Debidas a la ventilación para renovar el aire interior. La carga térmica de renovación del aire se calcula como la cantidad de aire necesaria para que el aire procedente del exterior alcance la temperatura del interior.

La carga térmica de ventilación está formada por dos componentes, una sensible, función de la temperatura; y otra latente función de la humedad.

Carga térmica sensible de ventilación:

$$Q_{\text{VENT,SENS}} = V_{\text{VENT}} \cdot \rho \cdot C_{\text{Pa}} \cdot (T_{\text{EXT}} - T_{\text{INT}}) \quad (7)$$

Carga térmica latente de ventilación:

$$Q_{\text{VENT,LAT}} = V_{\text{VENT}} \cdot \rho \cdot h_{\text{fg}} \cdot (w_{\text{EXT}} - w_{\text{INT}}) \quad (8)$$

Donde:

$Q_{\text{VENT,SENS}}$ =Carga sensible por ventilación [W].

$Q_{\text{VENT,LAT}}$ =Carga latente por ventilación [W].

V_{VENT} = Caudal de aire de ventilación [m³ /s].

ρ = Densidad del aire de ventilación y tiene un valor de 1,18 kg/m³

C_{pa} = Calor específico del aire y tiene un valor de 1004 J/KgK.

T_{EXT} = Temperatura seca exterior [K].

T_{INT} = Temperatura seca interior [K].

w_{EXT} = Relación de humedad exterior [Kg/KgAIRE SECO].

w_{INT} = Relación de humedad interior [Kg/KgAIRE SECO].

h_{fg} = Entalpía de cambio de fase del agua [J/kg].

El RITE determina los caudales mínimos de ventilación, a partir de la calidad del aire interior requerida para cada uso. En la siguiente tabla, se expresan los caudales correspondientes a casos normales, con ocupantes con actividad ligera, con solo contaminación de origen humano, a casos de locales en los que esté permitido fumar en las mismas condiciones que el anterior, y a casos de locales no ocupados permanentemente por personas (almacenes y similares), según las distintas calidades del aire que pide el Reglamento, sin tener en cuenta la calidad del aire exterior.

Caudales mínimos de aire exterior, en otros edificios

Categoría	usos a que se aplica	locales ocupados habitualmente L/s por persona		locales no ocupados habitualmente L/(s.m ²)
		no fumadores	fumadores	
IDA 1: aire de óptima calidad	hospitales, clínicas, laboratorios y guarderías.	20	—	no aplicable
IDA 2: aire de buena calidad	oficinas, residencias (locales comunes de hoteles y similares, residencias de ancianos y de estudiantes), salas de lectura, museos, salas de tribunales, aulas de enseñanza y asimilables y piscinas.	12,5	25	0,83
IDA 3: aire de calidad media	edificios comerciales, cines, teatros, salones de actos, habitaciones de hoteles y similares, restaurantes, cafeterías, bares, salas de fiestas, gimnasios, locales para el deporte (salvo piscinas) y salas de ordenadores.	8	16	0,55
IDA 4: aire de calidad baja		5	10	0,28

IDA son las siglas del inglés Indoor Air

Figura 20. Caudales mínimos de aire exterior.

En el Anexo 1se encuentran los cálculos de las cargas térmicas debidas a la ventilación para los locales típicos del edificio. A continuación se muestra las tablas con los resultados:

- **Aseos**

$Q_{\text{vent sensible}}(\text{W})$	223,9
$Q_{\text{vent latente}}(\text{W})$	179,48
$Q_{\text{vent}}(\text{W})$	403,38

- **Habitaciones**

$Q_{\text{vent sensible}}(\text{W})$	373,21
$Q_{\text{vent latente}}(\text{W})$	358,96
$Q_{\text{vent}}(\text{W})$	732,17

- **Salas de estar**

$Q_{\text{vent sensible}}(\text{W})$	2239,15
$Q_{\text{vent latente}}(\text{W})$	1794,78
$Q_{\text{vent}}(\text{W})$	4033,93



- **Enfermería**

$Q_{\text{vent sensible}}(\text{W})$	373,21
$Q_{\text{vent latente}}(\text{W})$	299,13
$Q_{\text{vent}}(\text{W})$	672,34

- **Despachos**

$Q_{\text{vent sensible}}(\text{W})$	373,21
$Q_{\text{vent latente}}(\text{W})$	299,13
$Q_{\text{vent}}(\text{W})$	672,34

- **Zonas de paso**

$Q_{\text{vent sensible}}(\text{W})$	495,56
$Q_{\text{vent latente}}(\text{W})$	395,46
$Q_{\text{vent}}(\text{W})$	891,02

4.4.3 CARGAS TÉRMICAS POR INFILTRACIONES

El cálculo de infiltraciones se realiza de manera similar al de ventilación.

Se divide en dos componentes, latente y sensible y sus expresiones son las siguientes:

- Para la carga térmica sensible:

$$Q_{inf} = V_{inf} \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_{ext} - T_{int}) \quad (9)$$

- Para la carga térmica latente:

$$Q_{inf,lat} = V_{vent} \cdot \rho \cdot h \cdot (W_{ext} - W_{int}) \quad (10)$$

Pero hay que tener en cuenta lo difícil que es estimar el caudal de las infiltraciones. Es por ello que su cálculo se realiza mediante un porcentaje de la carga térmica total. En este caso se toma que la carga térmica por infiltraciones es del 5 % de la carga térmica total del edificio.

4.4.4 CARGAS TÉRMICAS INTERIORES

Las cargas térmicas interiores se dividen en las debidas a los ocupantes y las debidas a la iluminación.

Las cargas térmicas debidas a los ocupantes tienen tanto componente latente como sensible, son las siguientes:

- Carga térmica sensible:

$$Q_{sen\ ocup} = 70 \text{ W/persona}$$

- Carga térmica latente:

$$Q_{lat\ ocup} = 60\ W/persona$$

Hay que tener en cuenta un factor de simultaneidad de los ocupantes, dicho factor de simultaneidad tiene un valor de 0.75.

Las cargas térmicas debidas a los ocupantes se calculan de la siguiente forma:

$$Q_{ocup} = (Q_{sen\ ocup} + Q_{lat\ ocup}) \cdot personas \cdot 0.75 = 97,5\ W/persona \quad (11)$$

Las cargas térmicas debidas a la iluminación tienen en cuenta el calor desprendido por las luces, tiene solo componente sensible, se puede tomar un valor aproximado de:

$$Q_{iluminación} = 20\ W/m^2$$

Las cargas térmicas debidas a los equipos electrónicos tienen en cuenta el calor desprendido por éstos, tiene solo componente sensible, se puede tomar un valor aproximado de:

$$Q_{equipos\ electrónicos} = 27\ W/m^2$$

4.5 CÁLCULO TOTAL DE CARGAS TÉRMICAS DE CLIMATIZACIÓN

En el edificio hay diferentes zonas, por las que se realiza un cálculo de carga térmica. Las diferentes zonas se han tratado de forma distinta según la orientación, el uso, y los cerramientos de los que consta.

En el Anexo 2 se realiza el cálculo total de cargas térmicas para el verano y se obtiene como resultado 174.5 KW.



Capítulo V

Demanda térmica, sistema de refrigeración, consumo eléctrico y eficiencia energética

Una vez se ha obtenido la carga térmica de refrigeración para el edificio, el siguiente paso es calcular los parámetros de las máquinas necesarias para transferir el calor y estimar un consumo energético para cada uno de los dos sistemas a comparar, un sistema de intercambio energético basado en la utilización de bomba de calor geotérmica y un sistema convencional consistente en una bomba de calor aire-agua.

Primeramente se procede a calcular la demanda térmica, posteriormente el cálculo del sistema de refrigeración, consumo eléctrico y, por último, la eficiencia energética.

Se realiza una simulación con el fin de comparar ambos sistemas. Para ello se cuentan con las temperaturas de los meses de verano del año 2010 en períodos de 10 minutos.

5.1 DEMANDA TÉRMICA

En la siguiente gráfica, se muestran las temperaturas exteriores a lo largo del verano de 2010, donde la línea gruesa indica las temperaturas máximas diarias y la línea fina indica las temperaturas mínimas diarias:

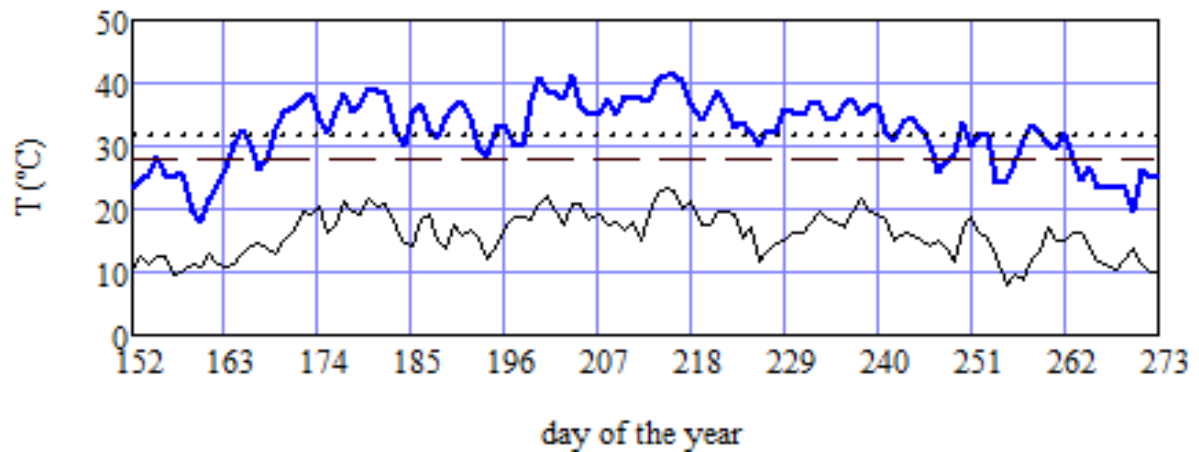


Figura 21. Temperaturas del verano de 2010.

Para el estudio comparativo, se escogen unos días característicos, en los que se encuentren las temperaturas máxima y mínima estacionales, estos son, el 4 de agosto con una temperatura máxima de 41,3 °C y el 11 de septiembre con 8 °C.

En la siguiente gráfica, se muestran las temperaturas exteriores a lo largo del día para tres días representativos del verano de 2010:

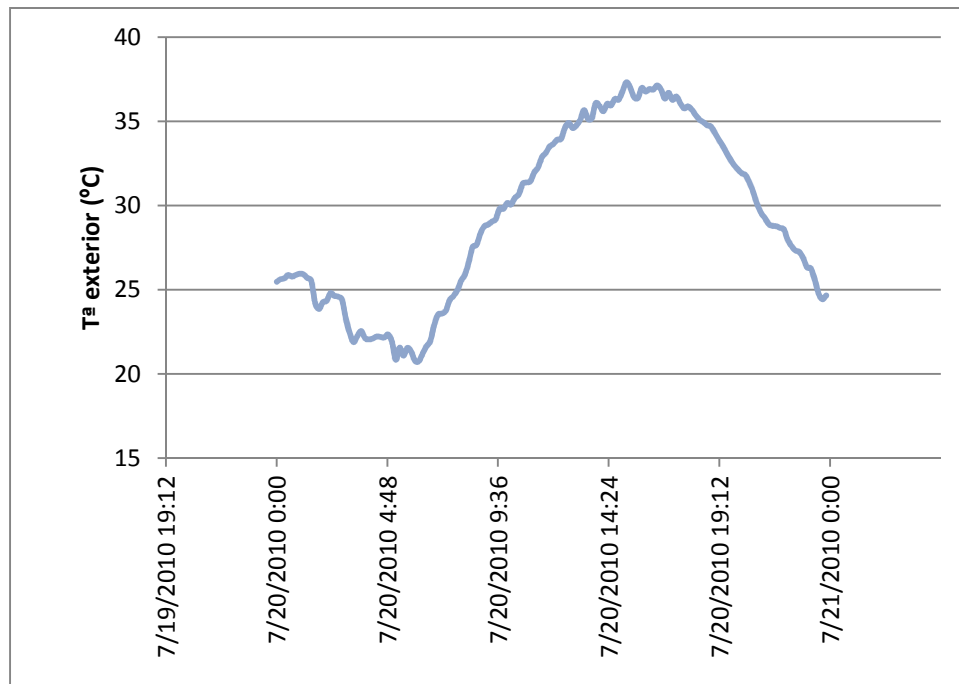


Figura 22. Temperatura exterior a lo largo del día 20/07/2010

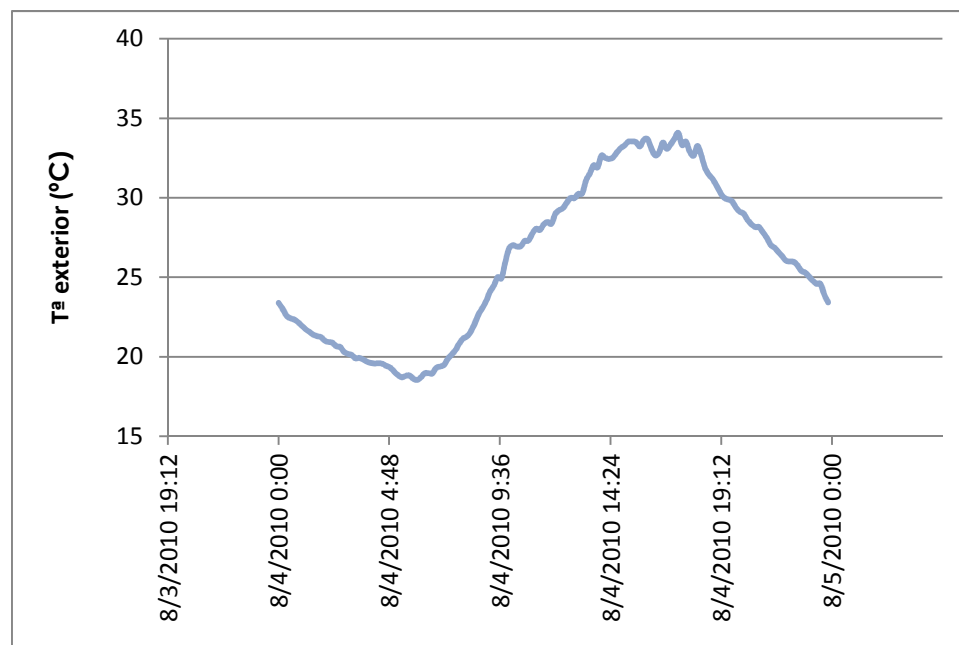


Figura 23. Temperatura exterior a lo largo del día 04/08/2010

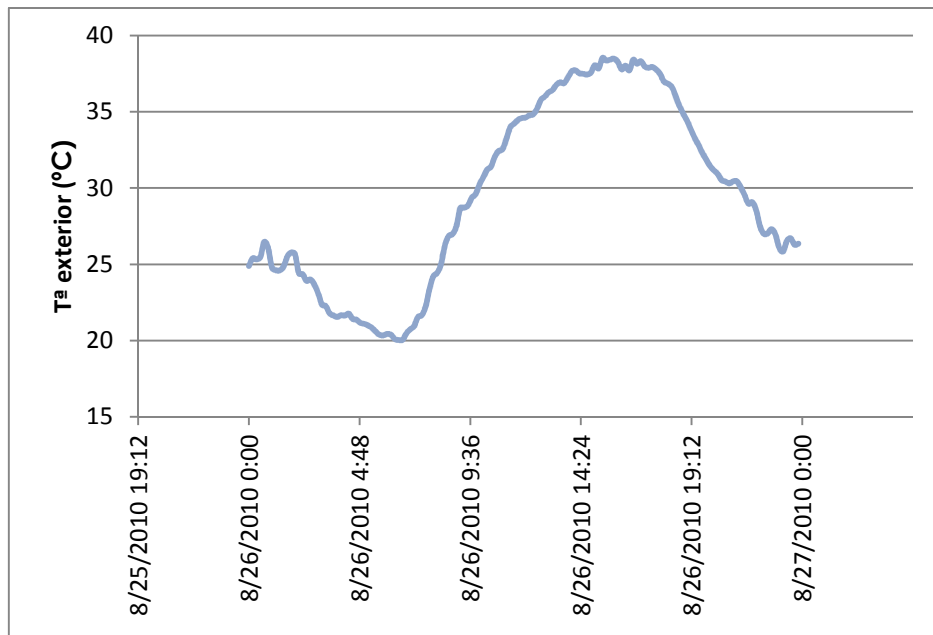


Figura 24. Temperatura exterior a lo largo del día 26/08/2010

El 26 de agosto se registró la temperatura instantánea máxima del año; el 20 de julio fue el día de mayor temperatura media diaria; y, el 4 de agosto el día de menor desviación media respecto a la media de las temperaturas de verano.

El coeficiente global de transferencia de calor está definido en la siguiente ecuación. Este valor incluye toda la carga térmica; es una simplificación útil para simular la carga instantánea.

$$Q_T = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (11)$$

Donde:

Q_T = Carga térmica de diseño para verano, 174.500 [W].



Los valores de temperatura exterior y temperatura interior son los de diseño, es decir, 38,6 °C y 26°C respectivamente.

Sustituyendo, se obtiene:

$$U \cdot A = 13,85 \text{ kW/}^{\circ}\text{C}.$$

De esta forma se puede obtener la carga instantánea en función de la temperatura exterior:

$$Q_i = 13,85 \cdot (T_{ext} - 26) [kW] \quad (12)$$

A partir de los datos de temperatura seca del aire exterior cada 10 minutos de cada uno de los días de verano del año 2010 se puede obtener la demanda térmica instantánea.

La demanda térmica a lo largo del día para los mismos tres días se muestra en las siguientes figuras.

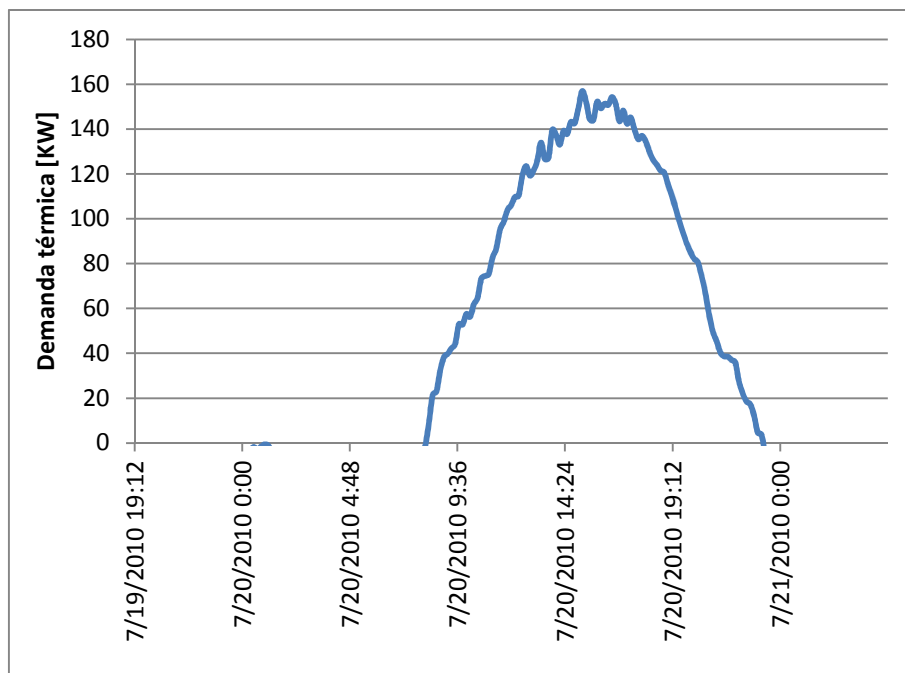


Figura 25. Demanda térmica a lo largo del día 20/07/2010

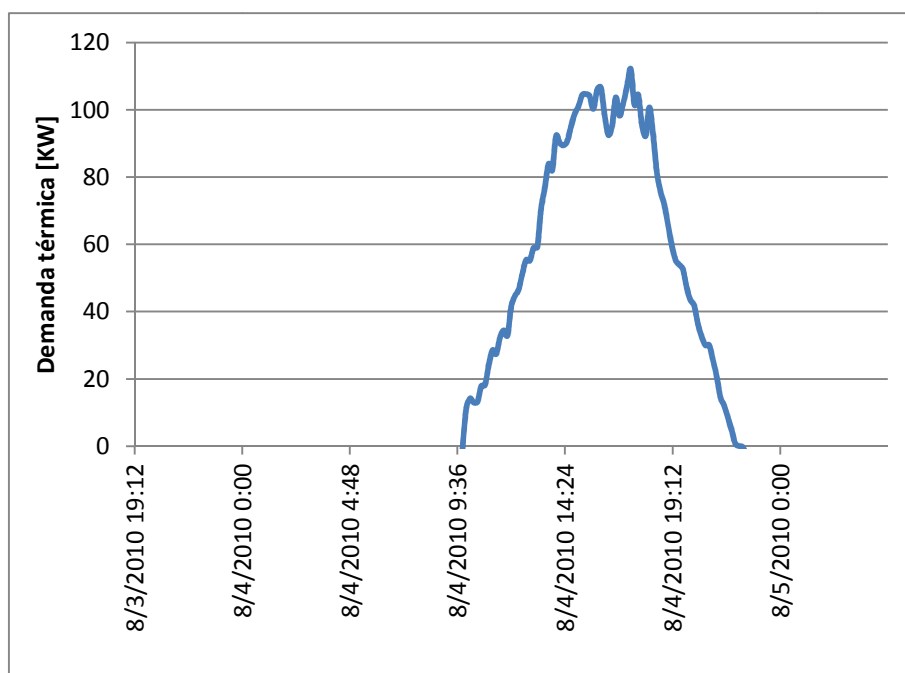


Figura 26. Demanda térmica a lo largo del día 04/08/2010

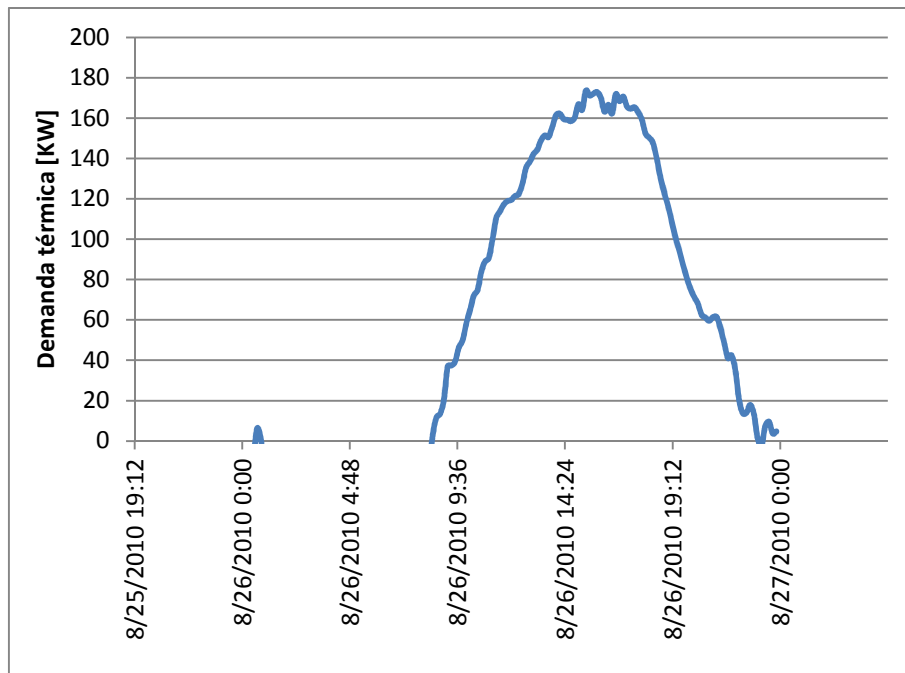


Figura 27. Demanda térmica a lo largo del día 26/08/2010

5.2 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

A partir de la demanda térmica para 2010 se procede a estimar un consumo y una eficiencia para cada uno de los dos sistemas: enfriadora aire-agua y bomba de calor geotérmica.

El refrigerante utilizado en ambos casos es el R410A.

Para comparar los dos sistemas se han utilizado las temperaturas del aire exterior y temperaturas del subsuelo del verano del año 2010.

El funcionamiento de un sistema de refrigeración se basa en las propiedades termodinámicas de un gas refrigerante al que se somete a un proceso cíclico cerrado, ciclo frigorífico, de compresión, condensación, expansión y evaporación como se ha explicado anteriormente en el capítulo 2.5.

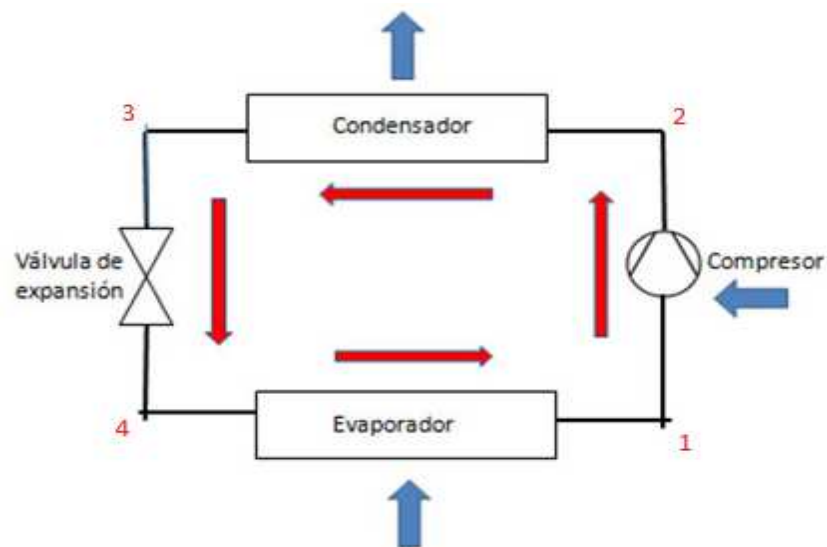


Figura 28. Ciclo de refrigeración.

A continuación se muestra el diagrama de Mollier donde se representan los puntos característicos del ciclo de refrigeración.

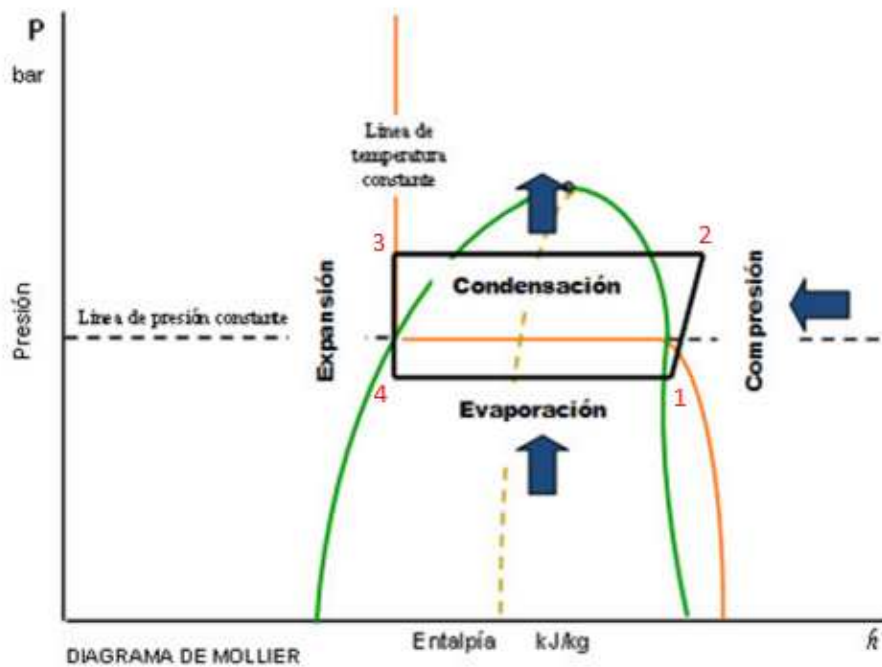


Figura 29. Diagrama de Mollier.

Muestra las aportaciones de energía que se realizan y las prestaciones térmicas que se obtienen en cada etapa del ciclo de funcionamiento de la máquina.

Mediante el software SOLKANE 8.0.0, del fabricante Solvay, se pueden comprobar las entalpías de cada punto del ciclo para una temperatura de condensación dada.

Las temperaturas de condensación se estiman, para el sistema de condensación por aire, mediante la siguiente expresión:

$$T_{Cond} = T_{ext} + 15 \text{ [}^{\circ}\text{C]}$$

La temperatura del evaporador se fija en 5 °C, con un recalentamiento de 7 °C. Asimismo, se supone un subenfriamiento de 7 °C para el condensador. Se ignoran las pérdidas de presión.

Los resultados de las entalpías en función de unos valores de temperaturas que comprenden entre los 26 y 40 °C son los que se muestran en la siguiente tabla:

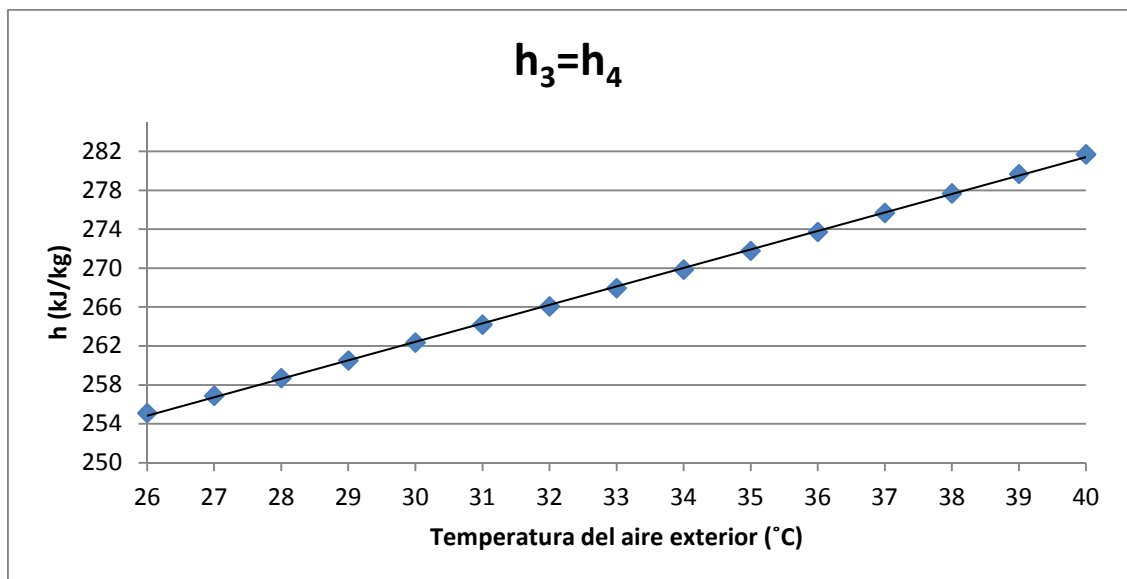
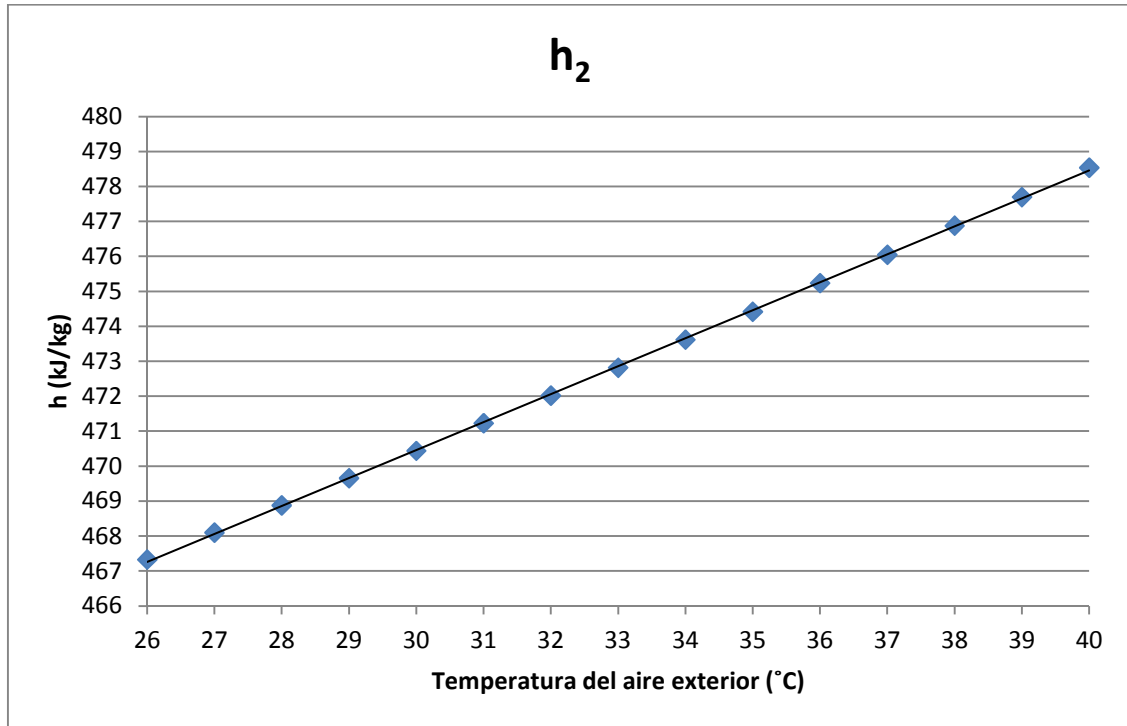
Temperatura exterior (°C)	h_1 (kJ/kg)	h_{2s} (kJ/kg)	h_2 (kJ/kg)	h_3 (kJ/kg)	h_4 (kJ/kg)
26	430,19	457,95	467,33	255,11	255,11
27	430,19	458,66	468,1	256,89	256,89
28	430,19	459,36	468,88	258,7	258,7
29	430,19	460,06	469,66	260,52	260,52
30	430,19	460,76	470,44	262,35	262,35
31	430,19	461,45	471,23	264,2	264,2
32	430,19	462,14	472,02	266,07	266,07
33	430,19	462,83	472,82	267,95	267,95
34	430,19	463,51	473,62	269,86	269,86
35	430,19	464,19	474,42	271,78	271,78
36	430,19	464,87	475,24	273,72	273,72
37	430,19	465,55	476,05	275,68	275,68
38	430,19	466,22	476,88	277,67	277,67
39	430,19	466,89	477,7	279,67	279,67
40	430,19	467,56	478,54	281,7	281,7

Tabla 6. Datos de entalpías en función de la temperatura exterior.

Como se observa en la tabla anterior, los valores entálpicos a la entrada del compresor y salida del evaporador no dependen de la temperatura exterior, su valor es constante.

$$h_1 = 430,19 \text{ kJ/kg}$$

Sin embargo, las entalpías de los puntos 2, 3 y 4 son valores lineales y con la temperatura exterior, como se observa en los siguientes gráficos.



De esta forma se puede aproximar dicha relación lineal a una recta de regresión.

$$h_2 = 0,8 \cdot T_{ext} + 446,44 \left[\frac{kJ}{kg} \right] \quad (13)$$

$$h_3 = h_4 = 1,895 \cdot T_{ext} + 205,15 \left[\frac{kJ}{kg} \right] \quad (14)$$

El calor intercambiado en el evaporador para cumplir la demanda se obtiene realizando un balance de energía en el evaporador:

$$Q_{EV} - m_R \cdot h_1 - m_R \cdot h_4 = 0 \quad (15)$$

Donde:

$$m_R = \text{gasto másico de refrigerante} \left[\frac{kg}{s} \right]$$

Asimismo, se puede escribir este calor por gasto másico de refrigerante o calor específico:

$$\frac{Q_{EV}}{m_R} = q_{EV} = h_1 - h_4 \quad (16)$$

Restando las funciones de entalpía para los puntos 4 y 1 se obtiene el calor específico del evaporador en función de la temperatura exterior:

$$q_{EV} = 205,04 - 1,895 \cdot T_{ext} \left[\frac{kJ}{kg} \right] \quad (17)$$

De esta forma se puede obtener el gasto másico de refrigerante dividiendo la demanda térmica entre la potencia específica del evaporador:

$$m_R = \frac{Q_{EV}}{q_{EV}} = \frac{Q_i}{q_{EV}} = \frac{13,85 \cdot (T_{ext} - 26)}{205,04 - 1,895 \cdot T_{ext}} \left[\frac{kg}{s} \right] \quad (18)$$

Se realiza un razonamiento similar para calcular el calor específico del condensador, proceso 2-3. La temperatura de condensación está influenciada por la temperatura del aire exterior, siendo 15 °C superior a esta. Además, el valor de la entalpía a la salida del condensador, h_3 , incluye un valor de subenfriamiento de 7 °C:

$$\frac{Q_{CD}}{m_R} = q_{CD} = h_3 - h_2 \quad (19)$$

Restando las funciones de entalpía para los puntos 3 y 2 se obtiene la potencia específica del condensador en función de la temperatura exterior:

$$q_{CD} = 1,095 \cdot T_{ext} - 241,29 \left[\frac{kJ}{kg} \right] \quad (20)$$

El proceso de expansión del gas refrigerante (3-4) se asume isoentálpico de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Q_{SD} = m_R \cdot (h_4 - h_3) = 0 \quad (21)$$

Realizando un balance de energía en el compresor (proceso 1-2) se obtiene la potencia específica del compresor:

$$\frac{W_{c,ideal}}{m_R} = w_{c,ideal} = h_{2s} - h_1 \quad (22)$$

En el cálculo del trabajo realizado por el compresor debe tenerse en cuenta la eficiencia isentrópica al considerarse pasos irreversibles en el proceso del compresión del refrigerante:

$$\frac{W_{c,is}}{m_R} = w_{c,is} = \frac{W_{c,ideal}}{\eta_{is}} = h_2 - h_1 \quad (23)$$

Suponiendo un rendimiento electromecánico del 80%, el consumo del compresor es:

$$W_{c,real} = \frac{m_R \cdot (h_2 - h_1)}{\eta_{EL} \cdot \eta_M} \quad (24)$$

$$\eta_{EL} \cdot \eta_M = 0,8$$

Sustituyendo el gasto másico y los valores de entalpía para los puntos 1 y 2 en función de la temperatura exterior, se obtiene la potencia del compresor instantánea en función de dicha temperatura teniendo en cuenta los rendimientos eléctrico y mecánico. Asimismo, se puede expresar dicha potencia mediante una curva de regresión polinómica de orden 2 calculada con Excel simulando el consumo instantáneo para las temperaturas exteriores del verano del año 2010.

$$W_{elec,c} = 0,145 \cdot T_{ext}^2 - 1,46 \cdot T_{ext} - 25,24 [kW] \quad (25)$$

5.3 EFICIENCIA ENERGÉTICA

El Coeficiente de Eficiencia Energética, COP (Coefficient of Performance) es una medida de la eficiencia del ciclo frigorífico. Es un ratio entre el trabajo útil que proporciona la bomba de calor y la electricidad consumida. En el caso en el que nos encontramos, la máquina se está usando para refrigerar una ambiente, con lo que el efecto útil es el calor extraído del foco frío.

$$COP = \frac{Q_F}{W} \quad (26)$$

Donde

Q_F = Calor extraído del foco frío.

W = Consumo eléctrico del compresor.

En las bombas de calor, la cantidad de calor que se puede bombear depende de la diferencia de temperatura entre las fuentes fría y caliente. Cuanto mayor sea esta diferencia, menor será el rendimiento de la máquina. Los COPs mayores equivalen a menos costes operativos.

Para entender el concepto de rendimiento, un principio básico debe ser tenido en cuenta. En la naturaleza no existen procesos ideales y por lo tanto el rendimiento, o eficiencia, de un proceso real es siempre inferior a la unidad, y esto es, porque en la transformación que lleva a cabo la máquina, se producen invariablemente pérdidas mecánicas por rozamiento y pérdidas de calor en las superficies de intercambio con el ambiente exterior.

El rendimiento de una máquina se puede definir de forma general como el cociente entre la energía o el trabajo útil producido por esa máquina, y la energía o el trabajo externo que debe aplicarse a la misma para que produzca el trabajo o el calor que se le demanda. De acuerdo con el principio anterior, el número adimensional que mide este rendimiento es siempre inferior a uno.

Sin embargo cuando se trata de equipos de aire acondicionado, reversibles o no, el rendimiento publicado por los fabricantes es casi siempre superior a la unidad. Esto se explica con el funcionamiento de los equipos de refrigeración.

Para sistemas completos el COP debe incluir el consumo de energía de todos los accesorios. Hay que tener en cuenta el rendimiento mecánico y eléctrico, incluso se puede considerar el rendimiento de auxiliares. De esta manera obtenemos el COP del ciclo real.

Una vez que se ha determinado el consumo eléctrico de la instalación, o el trabajo real absorbido por el ciclo se puede determinar el Coeficiente de Eficiencia Energética del ciclo real para el sistema:

$$COP = \eta_{is} \cdot \eta_{mec} \cdot \eta_{el} \cdot \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (27)$$

La diferencia entálpica entre los puntos 1 y 4 es el efecto frigorífico producido en el evaporador, por lo que se trata de energía calorífica. En cambio, la diferencia entálpica entre los puntos 1 y 2s es la energía específica transmitida por el compresor al refrigerante, se trata de energía mecánica. Por lo tanto, aunque numerador y denominador de la anterior expresión se midan en las mismas unidades de energía se trata de dos formas de energía diferentes y desde el punto de vista termodinámico la eficiencia que se obtiene es poco representativa. Sin embargo, es útil a los efectos de comparar el consumo de diferentes máquinas de enfriamiento, como es el caso.



La expresión anterior también se puede expresar como el cociente entre la demanda térmica (calor intercambiado en el evaporador) y el consumo eléctrico del compresor:

$$COP = \frac{Q_{Ev}}{W_{elec,c}} \quad (28)$$



Capítulo VI

Selección de equipos, comparativa

6.1 ELECCIÓN BOMBA DE CALOR CONVENCIONAL

De acuerdo a los cálculos de cargas térmicas se ha obtenido la siguiente demanda de potencia más desfavorable en el edificio:

$$P = 174,5 \text{ KW}$$

Se selecciona la producción de agua enfriada para los equipos interiores mediante una enfriadora de condensación por aire de 174 Kw modelo 30RB182-B de la marca CARRIER que usa el refrigerante R410A.



Figura 30. Enfriadora CARRIER modelo 30RB182-B

Para el cálculo del consumo se ha realizado una simulación a partir de las temperaturas del aire exterior del verano de 2010. El consumo eléctrico del compresor está definido mediante la siguiente expresión, calculada en el apartado anterior:

$$W_{elec,c} = 0,145 \cdot T_{ext}^2 - 1,46 \cdot T_{ext} - 25,24 [kW] \quad (25)$$

Se muestra, en el siguiente gráfico, el trabajo del compresor instantáneo en función de la temperatura exterior.

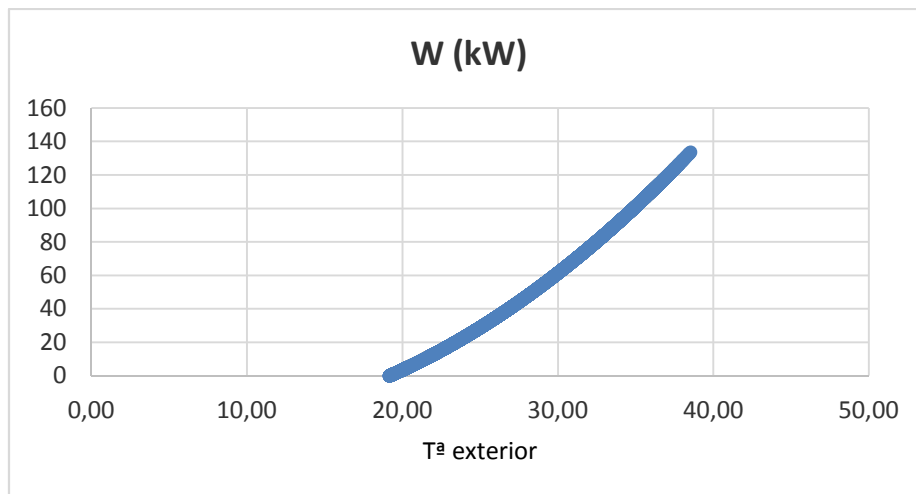


Figura 31. Trabajo del compresor en función de la Temperatura exterior

Las siguientes gráficas muestran el consumo a lo largo del día para los días representativos del verano de dicho año:

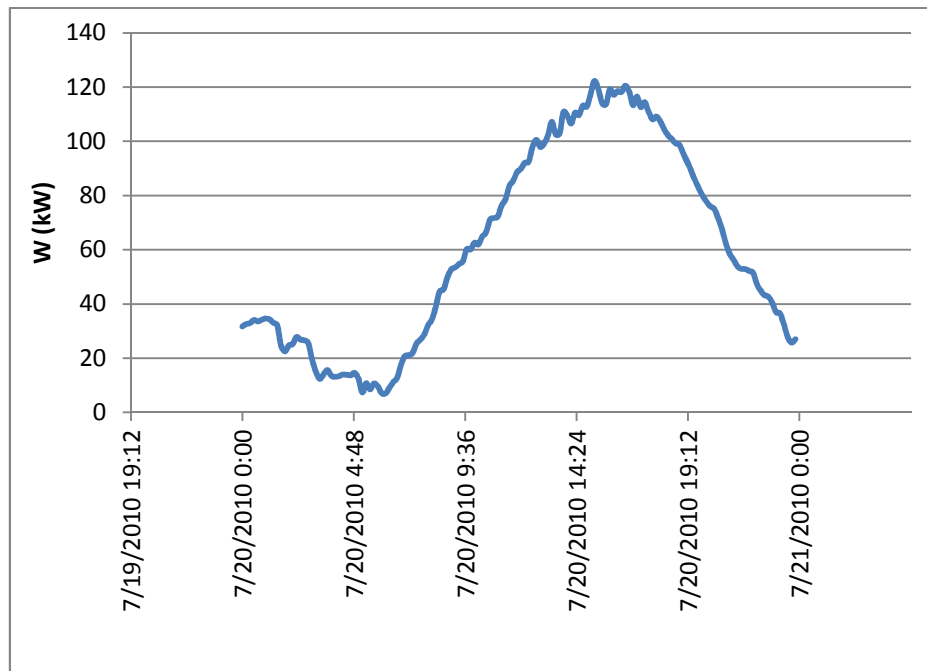


Figura 32. Consumo eléctrico a lo largo del día 20/07/2010

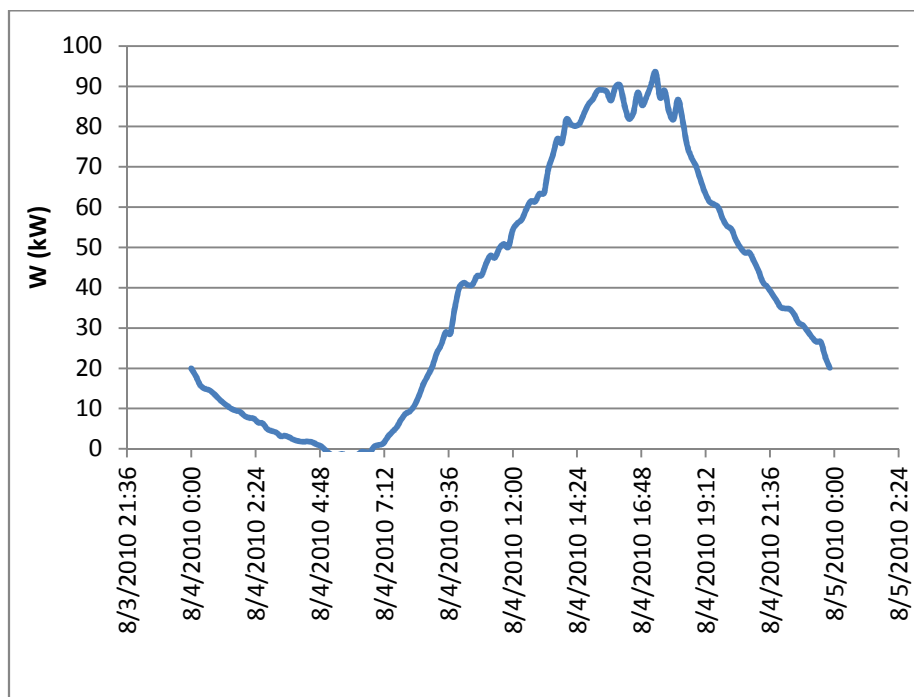


Figura 33. Consumo eléctrico a lo largo del día 04/08/2010

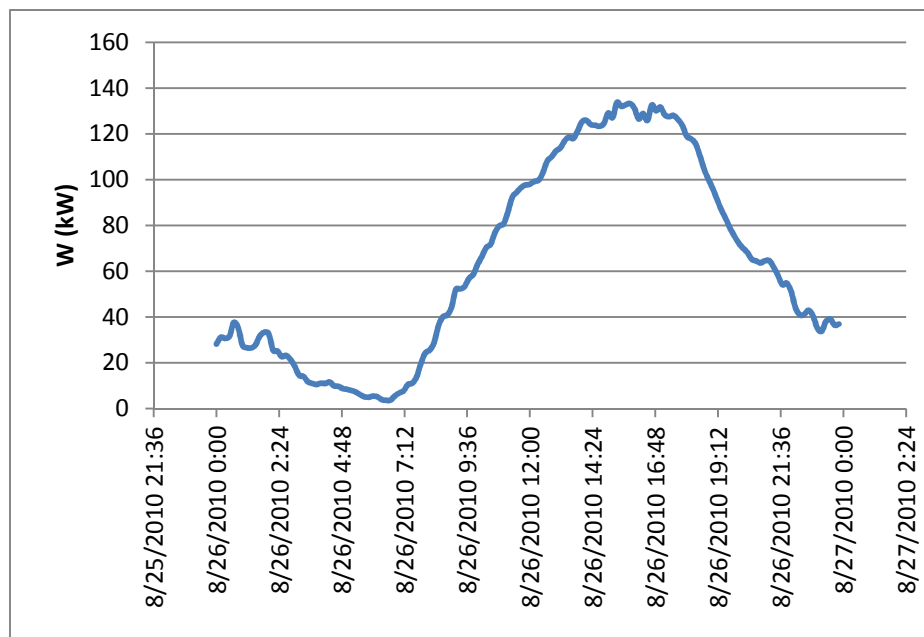


Figura 34. Consumo eléctrico a lo largo del día 26/08/2010

Utilizando los datos de las temperaturas del aire exterior reales para los meses de verano se muestra, en el siguiente gráfico, el coeficiente de Eficiencia Energética en función de la temperatura exterior.

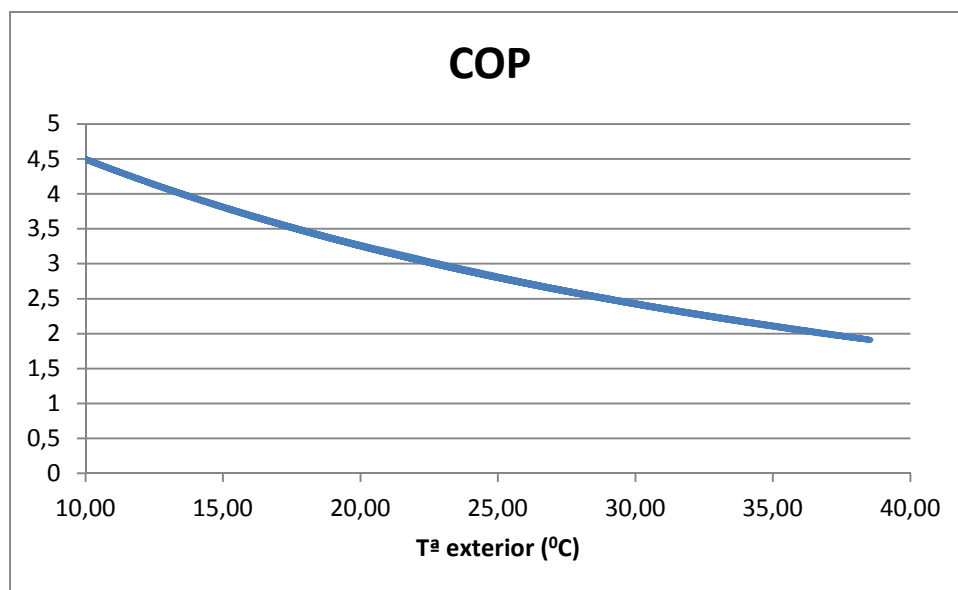


Figura 35. COP en función de la Temperatura exterior.

Las siguientes gráficas muestran el COP a lo largo del día para los días representativos del verano de dicho año:

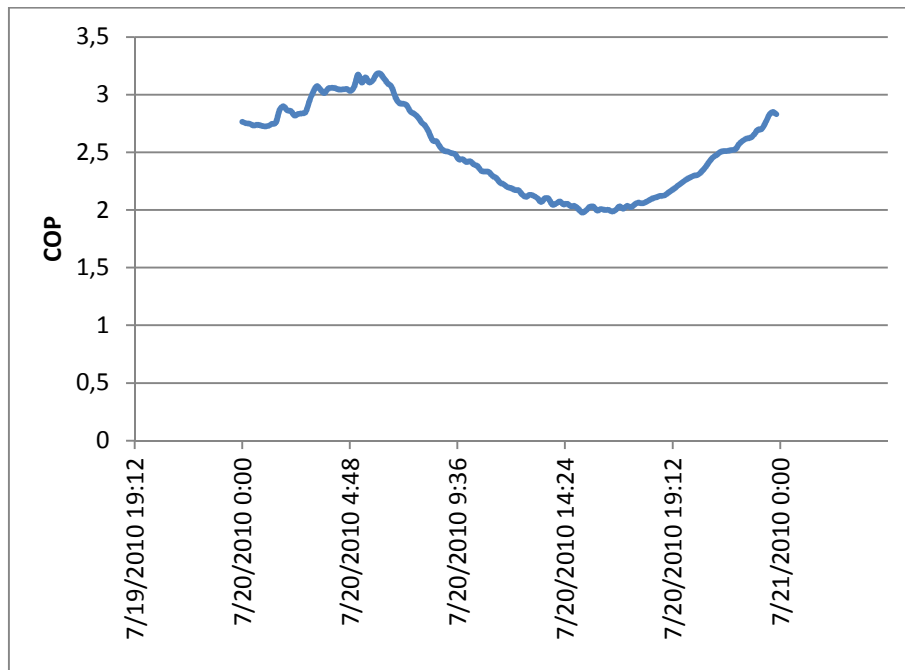


Figura 36. COP a lo largo del día 20/07/2010

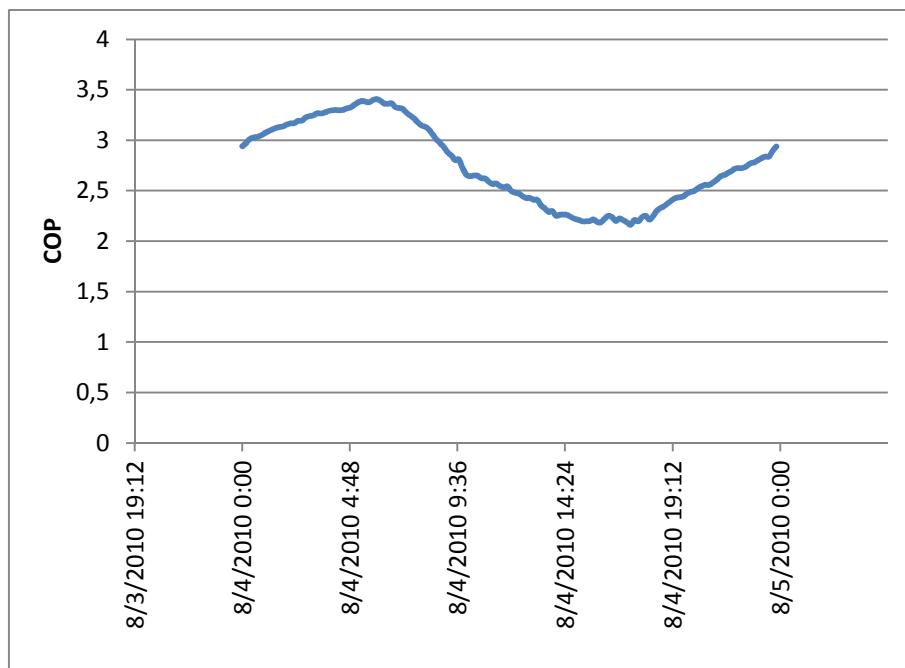


Figura 37. COP a lo largo del día 04/08/2010

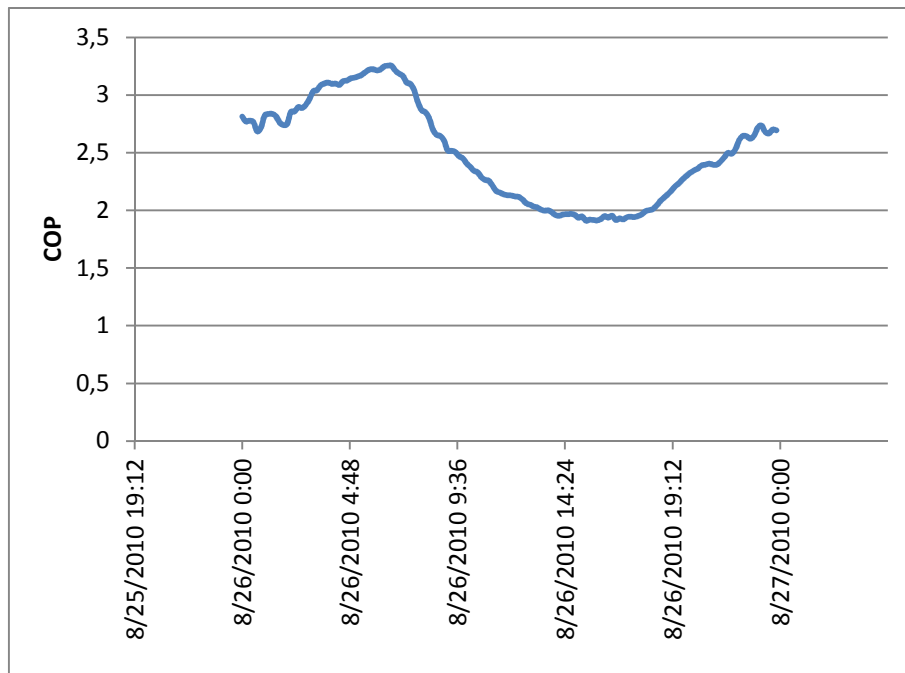


Figura 38. COP a lo largo del día 26/08/2010

El Coeficiente de Eficiencia Energética promedio durante las horas de funcionamiento, es decir, considerando que la enfriadora se pondrá en marcha para una temperatura del aire exterior superior a 26 °C, fue de 2,17.

En los siguientes gráficos se muestra el diagrama P-h del refrigerante R410A para las temperaturas del aire exterior máxima y mínima correspondientes a 41,3 °C y 8 °C, temperatura de condensación 56,3 °C y 23 °C, respectivamente:

$T=41,3\text{ °C}$

$\text{COP} = 1,78$

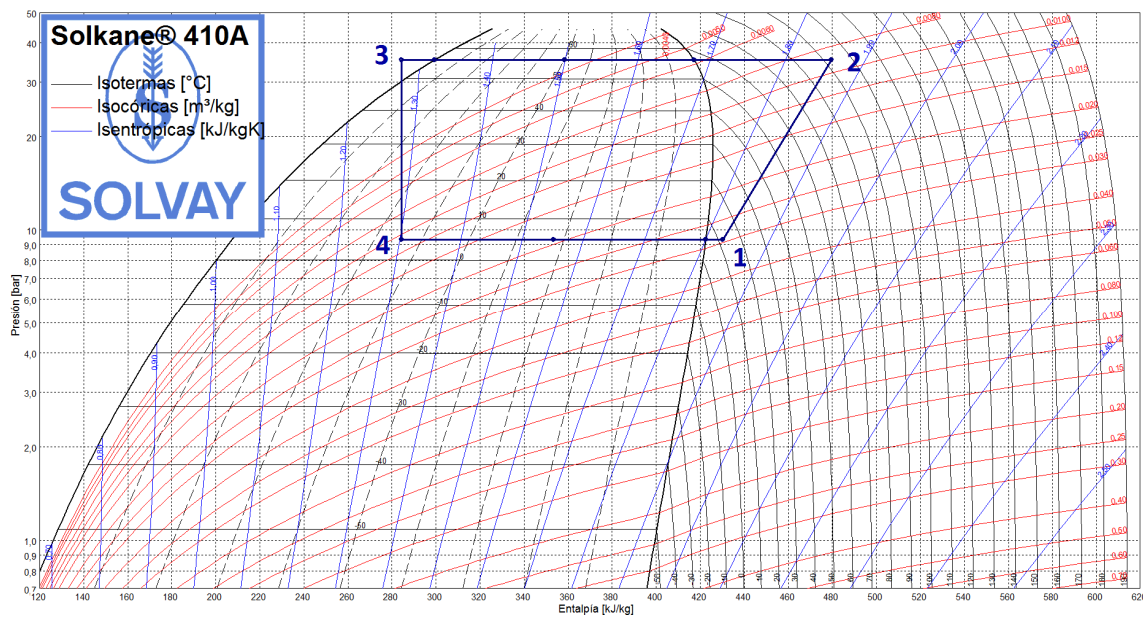


Figura 39. Diagrama P-h del refrigerante R410A para una T_{cond} de 56,3 °C.

$T = 8\text{ °C}$

$\text{COP} = 4,81$

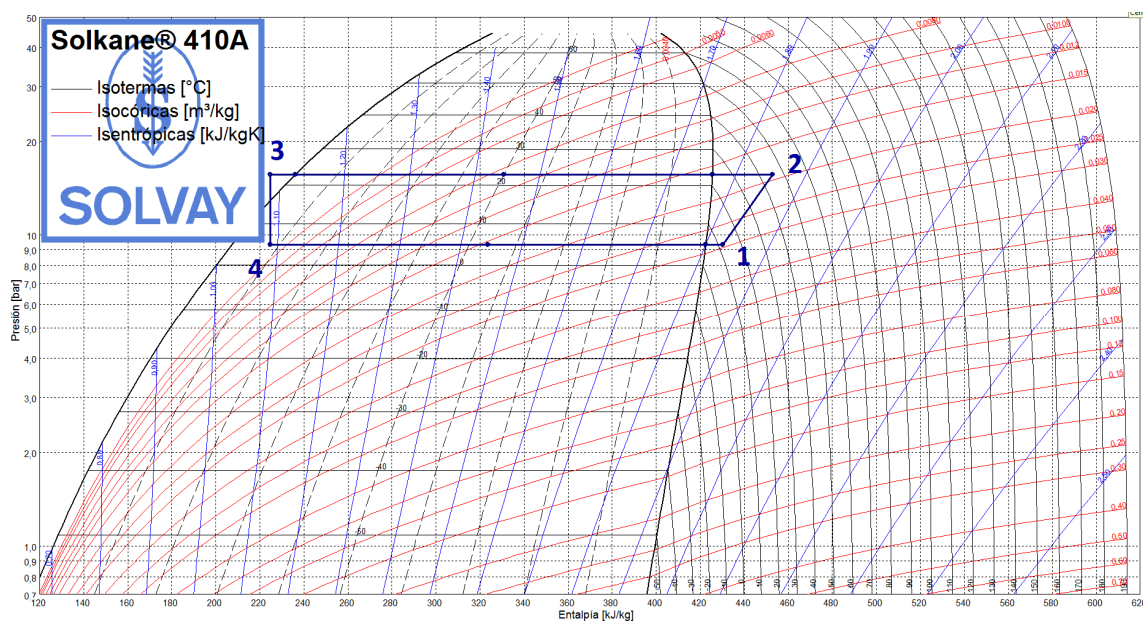


Figura 40. Diagrama P-h del refrigerante R410A para una T_{cond} de 23 °C.

6.2 ELECCIÓN BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA

De acuerdo a los cálculos de cargas térmicas se ha obtenido la siguiente demanda de potencia más desfavorable en el edificio:

$$P = 174,5 \text{ KW}$$

Se selecciona la producción de agua enfriada para los equipos interiores mediante una bomba geotérmica de 195Kw.

Se selecciona el modelo WSH-XSC 65D-180F de CLIVET, que utiliza el refrigerante R410A.



HYDRONIC
65D - 180F



WSH-XSC 65D-180F

WATER COOLED CHILLERS OF 195 TO 560 kW.

SPINCHILLER represents the very latest step in the evolution of chiller units. Designed specifically to optimize efficiency at partial loads, units of the SPINCHILLER series offer lower energy consumption — under normal operating conditions — than any other chiller of similar rated capacity.



WSH-XSC 65D - 180F (R-410A)		
Size	Cooling [kW]	Heating [kW]
65D	195	224
70D	207	237
75D	223	257
80D	234	269
85D	251	289
90D	286	327
100D	312	356
110D	334	383
115D	353	407
120D	371	428
135E	406	466
150F	440	506
165F	497	574
180F	560	646

Figura 41. Enfriadora CLIVET modelo WSH-XSC 65D-180F.

Para el cálculo del consumo se ha realizado una simulación a partir de las temperaturas del terreno del verano de 2010. El consumo eléctrico del compresor está definido mediante la siguiente expresión, calculada en el apartado anterior:

$$W_{elec,c} = 0,145 \cdot T_{ext}^2 - 1,46 \cdot T_{ext} - 25,24 [kW] \quad (25)$$

Donde T_{ext} corresponde con la temperatura del terreno.

A este consumo del compresor hay que sumarle el consumo de la bomba de impulsión del circuito geotérmico. El consumo de esta bomba no depende de la temperatura exterior del terreno, su valor es único siempre que el sistema esté en funcionamiento:

$$W_{elec,b} = 3 [kW]$$

De esta forma, el consumo eléctrico del sistema geotérmico es:

$$W_{elec} = 0,145 \cdot T_{ext}^2 - 1,46 \cdot T_{ext} - 22,24 [kW] \quad [29]$$

Las siguientes gráficas muestran el consumo a lo largo del día para los días representativos del verano de dicho año:

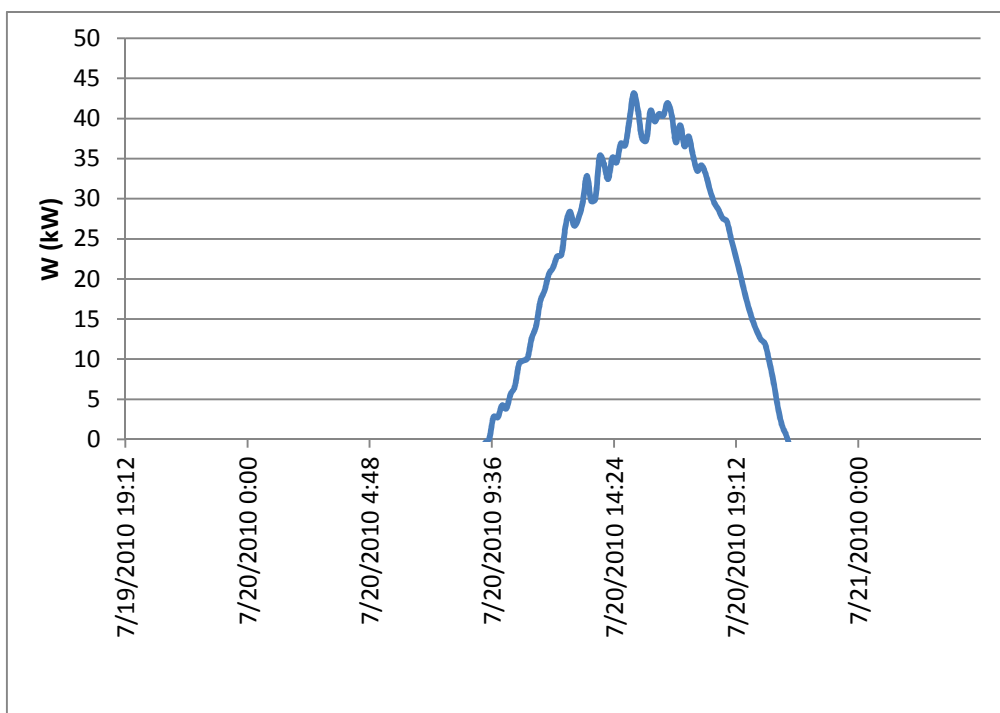


Figura 42. Consumo eléctrico a lo largo del día 20/07/2010

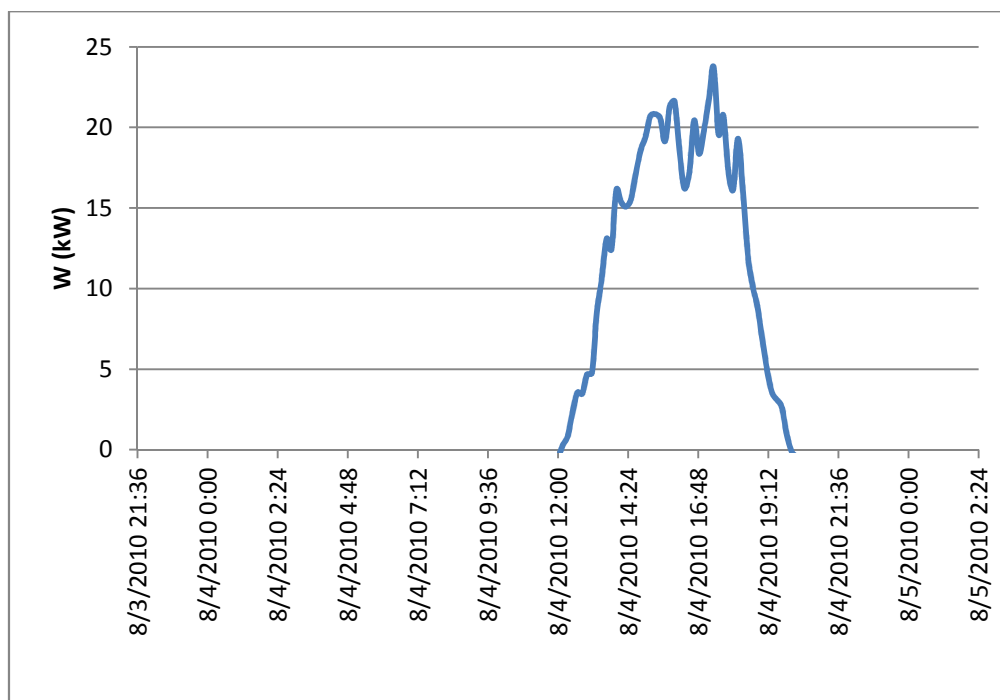


Figura 43. Consumo eléctrico a lo largo del día 04/08/2010

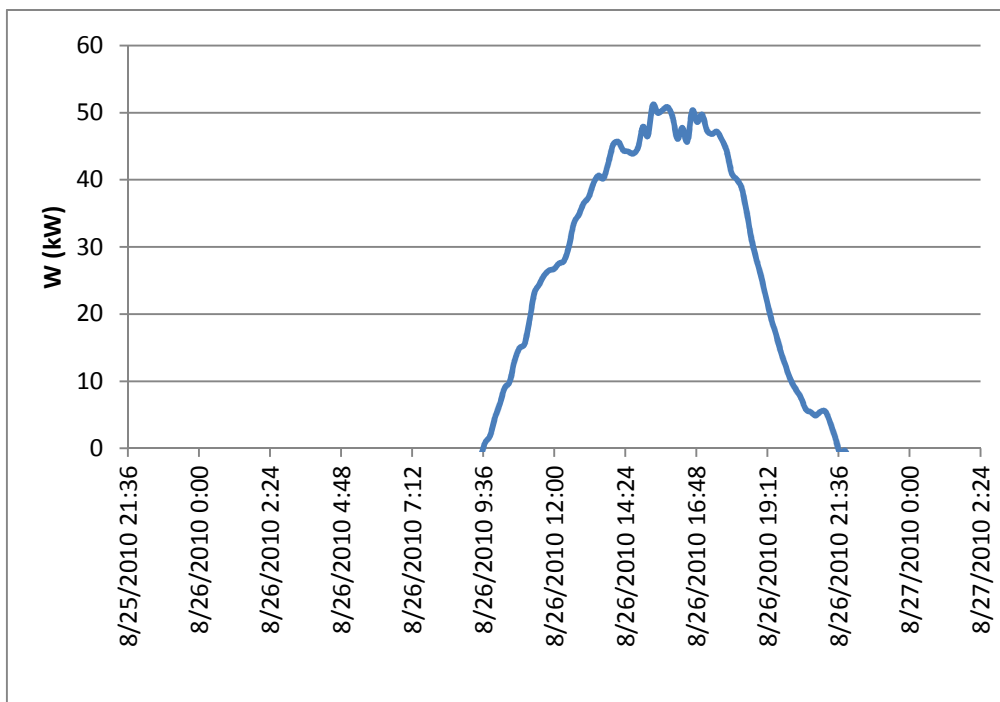


Figura 44. Consumo eléctrico a lo largo del día 26/08/2010

Las siguientes gráficas muestran el COP a lo largo del día para los días representativos del verano de dicho año:

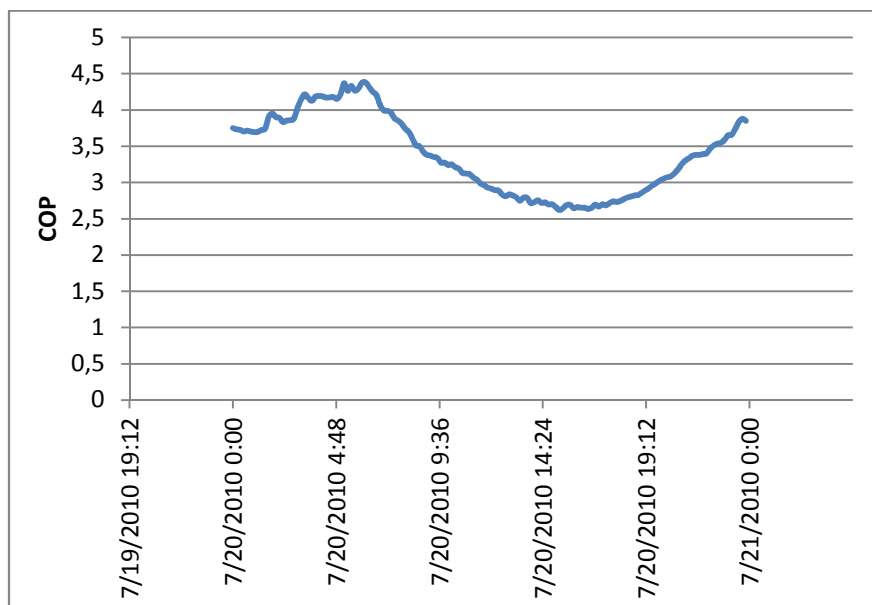


Figura 45. COP a lo largo del día 20/07/2010

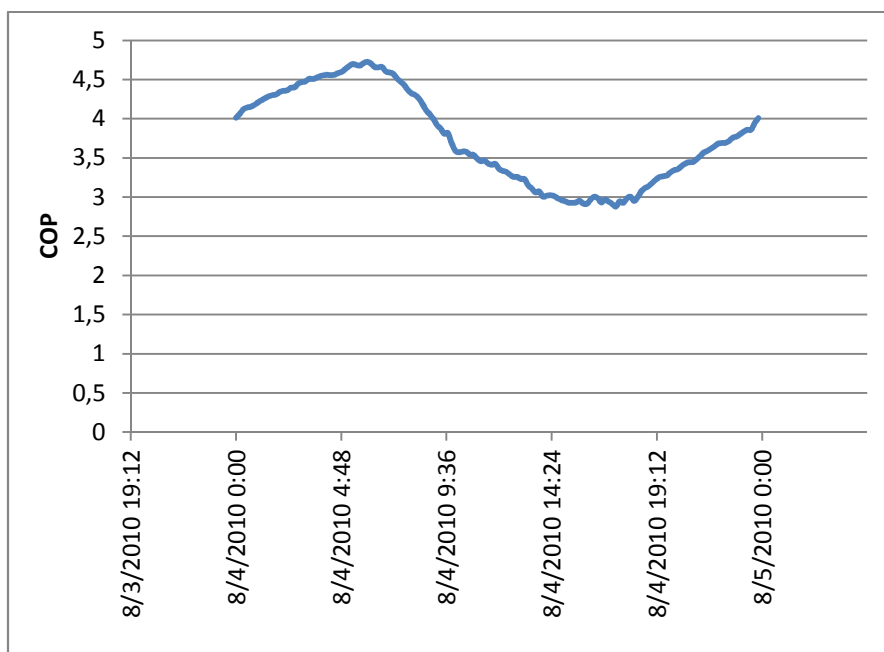


Figura 46. COP a lo largo del día 04/08/2010

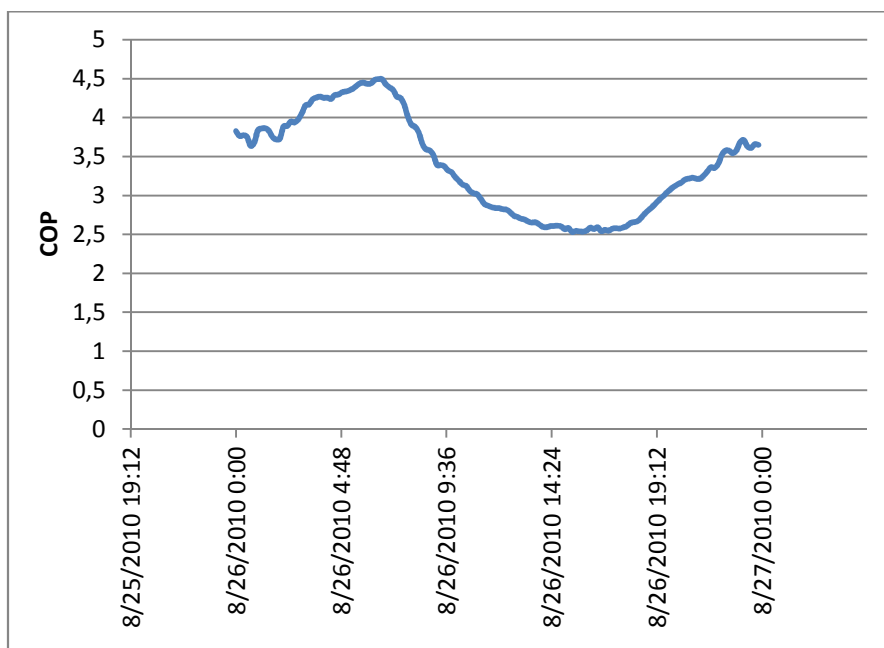


Figura 47. COP a lo largo del día 26/08/2010

El Coeficiente de Eficiencia Energética promedio durante las horas de funcionamiento, fue de 3,8.

En los siguientes gráficos se muestra el diagrama P-h del refrigerante R410A para las temperaturas del aire exterior máxima y mínima escogidas en el apartado 5.1 correspondientes a 41,3 °C y 8 °C: (las temperaturas del subsuelo para esos días se ha considerado 15 y 10 °C)

$T = 15\text{ °C}$.

$\text{COP} = 4,49$

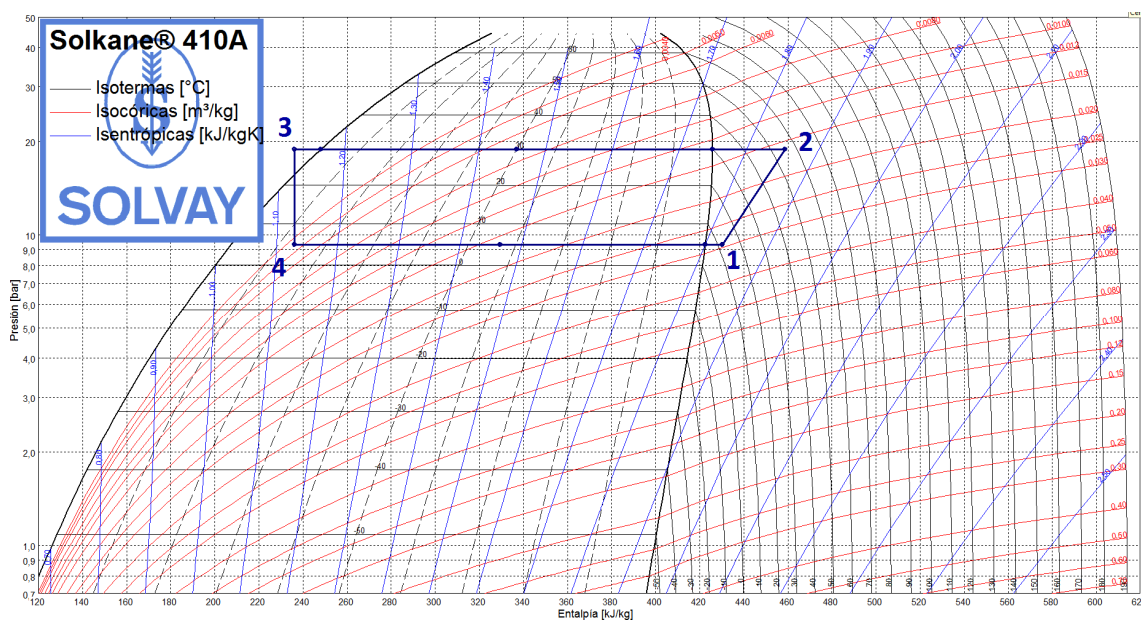


Figura 48. Diagrama P-h del refrigerante R410A para una T_{cond} de 30 °C.

$T = 10\text{ °C}$.

$\text{COP} = 3,81$

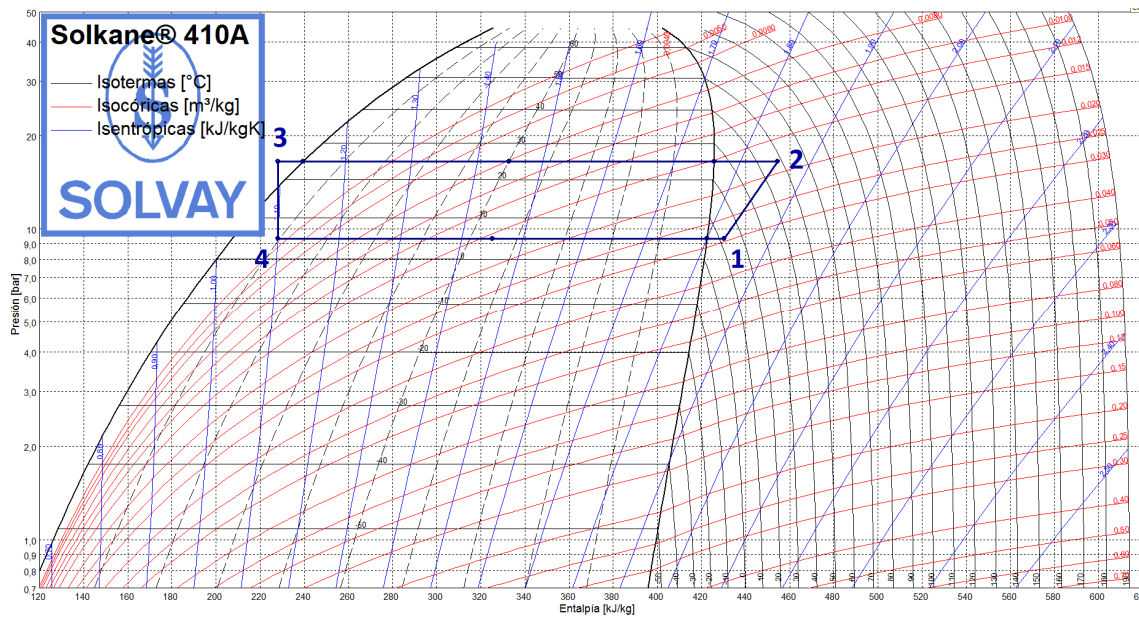


Figura 49. Diagrama P-h del refrigerante R410A para una T_{cond} de 25 °C.



Capítulo VII

Conclusiones

7.1 CONCLUSIONES

La mayor ventaja del sistema geotérmica reside en el elevado COP que se alcanza en comparación con las bombas de calor aire-agua convencionales.

Se ha realizado una simulación a lo largo de toda una estación estival, de los dos sistemas y comparado el COP promedio que alcanzaría una bomba de calor aire-agua y una bomba de calor geotérmica, que se muestra en el siguiente cuadro resumen:

	COP
Equipo Aire-Agua	2,17
Equipo Geotérmico	3,8

Con este resultado, se llega a la conclusión de que, la menor diferencia entre los focos de intercambio de calor hace que el COP del equipo geotérmico sea bastante mayor que en el otro equipo para demandas térmicas iguales.

Por otro lado se ha realizado una comparación del consumo eléctrico del compresor de cada sistema.

La simulación realizada para el verano de 2010 revela que el consumo eléctrico estimado para el sistema de condensación por geotermia es un 39,6% inferior al sistema de condensación por aire.

Se concluye que la opción de una bomba de calor geotérmica puede ser la mejor solución frente a otras soluciones.

Cabe mencionar un aspecto que no se ha tenido demasiado en cuenta como es el intercambiador de calor que se instala en el subsuelo para realizar el intercambio entre el sistema geotérmico y la unidad exterior de la bomba de calor. El buen diseño y funcionamiento de este intercambiador es indispensable para el correcto funcionamiento del sistema.

Esta tecnología ofrece importantes ventajas pues sus altos rendimientos se derivan en un ahorro económico en los costes de explotación de la instalación así como en una disminución de las emisiones de gases de efecto perjudicial y dióxido de carbono CO₂. Asimismo los costes de mantenimiento se ven disminuidos, con el consiguiente beneficio evidente que ello conlleva.

El diseño y ejecución de instalaciones geotérmicas ha de basarse en una amplia experiencia y know-how, que aseguren la sostenibilidad del proyecto. La utilización de equipos de perforación específicos para aplicaciones geotérmicas, bombas de calor de última generación y materiales geotérmicos con los más altos estándares de calidad es igualmente necesario para asegurar el éxito de cualquier instalación geotérmica aplicada a climatización de edificios.

La mayor parte del consumo energético en edificios se atribuye a requerimientos de calefacción y refrigeración por parte de los ocupantes para conseguir unas condiciones de confort. Las técnicas más extendidas actualmente requieren de un uso de combustibles fósiles, con la consiguiente emisión de gases de efecto invernadero y

un encarecimiento en la factura energética. El rápido crecimiento económico en los últimos años ha propiciado una mejora de las condiciones económicas de la población que demanda cada vez más confort. Ello ha ocasionado un incremento de las necesidades energéticas para climatización de edificios. Por ello, se ha realizado un gran esfuerzo para disminuir la dependencia energética exterior con el fin de disponer de unas fuentes de energía alternativa y sistemas de consumo más eficientes, capaces de reducir la dependencia energética exterior así como las emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero. Entre las energías renovables minoritarias se encuentra la Energía Geotérmica. Dicha energía con el uso de bombas de calor geotérmicas presenta una alternativa a los sistemas de climatización convencionales para abastecer las necesidades de calefacción y refrigeración que demandan los diferentes edificios.



Capítulo VIII

Bibliografía, Webs de consulta.



- Código Técnico de la Edificación (CTE). Ministerio de Vivienda.
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), Real Decreto 1027/2007, de 20 de Julio.
- Conjunto de normas UNE referenciadas en el RITE.
- Conjunto de normas UNE no referenciadas en el RITE relativas al Área Técnica de Climatización de AENOR.
- Energía Geotérmica. Pous, Jaume; Jutgar, Lluís. Ediciones Ceac. 2004.
- Guía de la Energía Geotérmica .Guillermo Llopis Trillo y Vicente Rodrigo Angulo.
- Guía Técnica de Bombas de Calor Geotérmicas. Conde Lázaro, E., Ramos Millán, A., Reina Peral, P., y Vega Remesal, A.
- Guía técnica de diseño de sistemas de bomba de calor geotérmica. IDAE. 2010.
- Instituto de Ahorro de la Energía, IDAE. Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura. Revisión 2002.
- Guía técnica de instalaciones de climatización por agua. IDAE. 2008.
- Artículo: Air conditioning in the region of Madrid, Spain: An approach to electricity consumption, economics and CO2 emissions. M. Izquierdo, A. Moreno-Rodríguez, A. González-Gil, N. García-Hernando.
- Jornada sobre Mejoras para la Regulación de los Sistemas Geotérmicos Someros a nivel local y regional. Profesor Doctor Javier F. Urchuequía. Universidad Politécnica de Valencia.
- Medición de la temperatura y respuesta térmica del suelo-Madrid.INGEOSOLUM.
- Catálogos de fabricantes relacionados.



- Otros proyectos de contenido relacionado.

Páginas webs de consulta. Con fecha Marzo de 2016.

- www.energylab.es
- www.gealianova.com
- www.rehau.es
- www.uponor.es
- www.grammer-solar.es
- www.igme.es
- www.idae.es
- www.fenercom.com
- www.ferroli.es
- www.rehau.com
- www.termoven.es
- www.sedical.com
- www.geothermal.org
- www.aemet.es
- www.meteoclimatic.net/
- www.geoter.es
- www.ingelco.es/empresa.html
- www.giroadgeotermia.com
- www.termoterra.es
- www.ciatesa.es
- <http://ingeosolum.blogspot.com.es/2011/11/medicion-de-la-temperatura-del-terreno.html>



Capítulo XIX

ANEXOS

ANEXO 1. CÁLCULO DE LAS CARGAS TÉRMICAS DEBIDAS A LA VENTILACIÓN

En las siguientes tablas se reflejan las cargas térmicas para los locales más típicos del edificio.

- **Aseos** ($V_{\text{vent}} = 15 \text{ L/s} \cdot \text{pers}$)

$$Q_{\text{VENTILACIÓN}} = 0.015 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1.18 \text{ kg/m}^3 \cdot 1004 \text{ J/KgK} \cdot (T_{\text{ext}} - T_{\text{int}})$$

$$= 17.77 \cdot (T_{\text{ext}} - T_{\text{int}}) \text{ W/K}$$

$T^{\circ}\text{ext (}^{\circ}\text{C)}$	36,6
$T^{\circ}\text{int (}^{\circ}\text{C)}$	24
$\Delta T(\text{K})$	12,6
$Q_{\text{vent sensible}}(\text{W})$	223,9

- **Habitaciones** ($V_{\text{vent}} = 12,5 \text{ L/s} \cdot \text{pers}$)

$$Q_{\text{VENTILACIÓN}} = 0.0125 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{pers} \cdot 2 \text{ pers} \cdot 1.18 \text{ kg/m}^3 \cdot 1004 \text{ J/KgK} \cdot (T_{\text{ext}} - T_{\text{int}})$$

$$= 29.62 \cdot (T_{\text{ext}} - T_{\text{int}}) \text{ W/K}$$

$T^{\circ}\text{ext (}^{\circ}\text{C)}$	36,6
$T^{\circ}\text{int (}^{\circ}\text{C)}$	24



$\Delta T(K)$	12,6
$Q_{\text{vent sensible}}(W)$	373,21

- **Salas de estar** ($V_{\text{vent}}=12,5 \text{ L/s} \cdot \text{pers}$)

$$Q_{\text{VENTILACIÓN}} = 0.0125 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{pers} \cdot 12 \text{ pers} \cdot 1.18 \text{ kg/m}^3 \cdot 1004 \text{ J/KgK} \cdot (T_{\text{ext}} - T_{\text{int}})$$

$$= 177,71 \cdot (T_{\text{ext}} - T_{\text{int}}) \text{ W/K}$$

$T^{\circ}\text{ext } (^{\circ}\text{C})$	36,6
$T^{\circ}\text{int } (^{\circ}\text{C})$	24
$\Delta T(K)$	12,6
$Q_{\text{vent sensible}}(W)$	2239,15

- **Enfermería** ($V_{\text{vent}}=12,5 \text{ L/s} \cdot \text{pers}$)

$$Q_{\text{VENTILACIÓN}} = 0.0125 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{pers} \cdot 2 \text{ pers} \cdot 1.18 \text{ kg/m}^3 \cdot 1004 \text{ J/KgK} \cdot (T_{\text{ext}} - T_{\text{int}})$$

$$= 29,62 \cdot (T_{\text{ext}} - T_{\text{int}}) \text{ W/K}$$

$T^{\circ}\text{ext } (^{\circ}\text{C})$	36,6
$T^{\circ}\text{int } (^{\circ}\text{C})$	24
$\Delta T(K)$	12,6

$Q_{\text{vent sensible}}(\text{W})$	373,21
--------------------------------------	--------

- **Despachos** ($V_{\text{vent}}=12,5 \text{ L/s} \cdot \text{pers}$)

$$Q_{\text{VENTILACIÓN}} = 0.0125 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{pers} \cdot 2 \text{ pers} \cdot 1.18 \text{ kg/m}^3 \cdot 1004 \text{ J/KgK} \cdot (T_{\text{ext}} - T_{\text{int}})$$

$$= 29,62 \cdot (T_{\text{ext}} - T_{\text{int}}) \text{ W/K}$$

$T^{\circ}\text{ext } (^{\circ}\text{C})$	36,6
$T^{\circ}\text{int } (^{\circ}\text{C})$	24
$\Delta T(\text{K})$	12,6
$Q_{\text{vent sensible}}(\text{W})$	373,21

- **Zonas de paso** ($V_{\text{vent}}=0,83 \text{ L/s} \cdot \text{m}^2$)

$$Q_{\text{VENTILACIÓN}} = 0.00083 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{m}^2 \cdot X \text{ m}^2 \cdot 1.18 \text{ kg/m}^3 \cdot 1004 \text{ J/KgK} \cdot (T_{\text{ext}} - T_{\text{int}})$$

Depende de la superficie de cada zona de paso considerada para el cálculo de cargas.

Para el cálculo de la carga térmica latente de ventilación es necesario el uso del diagrama psicrométrico para poder calcular la entalpía en función de HR y de la temperatura, los datos bajo los cuales se realiza el proyecto son los reflejados en la siguiente tabla.



T ^o ext (°C)	36,6
HR (%)	42
h (KJ/Kg)	78

Teniendo en cuenta que la temperatura de confort en el local es 24 °C y que la humedad relativa es 55 %, se tienen las siguientes cargas térmicas latentes de ventilación para los locales en los cuales se usa la climatización:

- **Aseos** ($V_{\text{vent}} = 15 \text{ L/s} \cdot \text{pers}$)

$$Q_{\text{VENTILACIÓN, LATENTE}}$$

$$= 0.015 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{pers} \cdot 1 \text{ pers} \cdot 1.18 \text{ kg/m}^3 \cdot h \text{ J/Kg} \cdot (W_{\text{ext}} - W_{\text{int}})$$

$$= 0.0177 \cdot h \text{ J/Kg} \cdot (W_{\text{ext}} - W_{\text{int}}) \text{ W}$$

HR ext (%)	42
HRint (%)	55
$W_{\text{ext}} - W_{\text{int}}$	0,13
h (J/Kg)	78000
$Q_{\text{vent latente}} (\text{W})$	179,48

- **Habitaciones** ($V_{\text{vent}} = 12,5 \text{ L/s} \cdot \text{pers}$)



$$Q_{\text{VENTILACIÓN,LATENTE}} = 0.015 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{pers} \cdot 2 \text{ pers} \cdot 1.18 \text{ kg/m}^3 \cdot h \text{ J/Kg} \cdot (W_{\text{ext}} - W_{\text{int}})$$

$$= 0.0354 \cdot h \text{ J/Kg} \cdot (W_{\text{ext}} - W_{\text{int}}) \text{ W}$$

HR ext (%)	42
HRint (%)	55
$W_{\text{ext}} - W_{\text{int}}$	0,13
h(J/Kg)	78000
$Q_{\text{vent latente}}(\text{W})$	358,96

- **Salas de estar** ($V_{\text{vent}}=12,5 \text{ L/s} \cdot \text{pers}$)

$$Q_{\text{VENTILACIÓN,LATENTE}}$$

$$= 0.015 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{pers} \cdot 12 \text{ pers} \cdot 1.18 \text{ kg/m}^3 \cdot h \text{ J/Kg} \cdot (W_{\text{ext}} - W_{\text{int}})$$

$$= 0.177 \cdot h \text{ J/Kg} \cdot (W_{\text{ext}} - W_{\text{int}}) \text{ W}$$

HR ext (%)	42
HRint (%)	55
$W_{\text{ext}} - W_{\text{int}}$	0,13
h(J/Kg)	78000
$Q_{\text{vent latente}}(\text{W})$	1794,78

- **Enfermería** ($V_{\text{vent}}=12,5 \text{ L/s} \cdot \text{pers}$)

$Q_{\text{VENTILACIÓN,LATENTE}}$

$$= 0.0125 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{pers} \cdot 2 \text{ pers} \cdot 1.18 \text{ kg/m}^3 \cdot h \text{ J/Kg} \cdot (W_{\text{ext}} - W_{\text{int}})$$

$$= 0.0295 \cdot h \text{ J/Kg} \cdot (W_{\text{ext}} - W_{\text{int}}) \text{ W}$$

HR ext (%)	42
HRint (%)	55
$W_{\text{ext}} - W_{\text{int}}$	0,13
h(J/Kg)	78000
$Q_{\text{vent latente}}(\text{W})$	299,13

- **Despachos** ($V_{\text{vent}}=12,5 \text{ L/s} \cdot \text{pers}$)

$Q_{\text{VENTILACIÓN,LATENTE}}$

$$= 0.0125 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{pers} \cdot 2 \text{ pers} \cdot 1.18 \text{ kg/m}^3 \cdot h \text{ J/Kg} \cdot (W_{\text{ext}} - W_{\text{int}})$$

$$= 0.0295 \cdot h \text{ J/Kg} \cdot (W_{\text{ext}} - W_{\text{int}}) \text{ W}$$

HR ext (%)	42
HRint (%)	55
$W_{\text{ext}} - W_{\text{int}}$	0,13
h(J/Kg)	78000

$Q_{\text{vent latente}}(\text{W})$	299,13
-------------------------------------	--------

- **Zonas de paso** ($V_{\text{vent}}=0,83 \text{ L/s} \cdot \text{m}^2$)

$Q_{\text{VENTILACIÓN,LATENTE}}$

$$= 0.00083 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{m}^2 \cdot 40 \text{ m}^2 \cdot 1.18 \text{ kg/m}^3 \cdot h \text{ J/Kg} \cdot (W_{\text{ext}} - W_{\text{int}})$$

$$= 0.039 \cdot h \text{ J/Kg} \cdot (W_{\text{ext}} - W_{\text{int}}) \text{ W}$$

HR ext (%)	42
HRint (%)	55
$W_{\text{ext}} - W_{\text{int}}$	0,13
$h(\text{J/Kg})$	78000
$Q_{\text{vent latente}}(\text{W})$	395,46

Finalmente, sumando la carga latente y la carga sensible, obtenemos la carga térmica de ventilación total por cada tipo de local.

- **Aseos**

$Q_{\text{vent sensible}}(\text{W})$	223,9
$Q_{\text{vent latente}}(\text{W})$	179,48
$Q_{\text{vent}}(\text{W})$	403,38



- **Habitaciones**

$Q_{\text{vent sensible}}(\text{W})$	373,21
$Q_{\text{vent latente}}(\text{W})$	358,96
$Q_{\text{vent}}(\text{W})$	732,17

- **Salas de estar**

$Q_{\text{vent sensible}}(\text{W})$	2239,15
$Q_{\text{vent latente}}(\text{W})$	1794,78
$Q_{\text{vent}}(\text{W})$	4033,93

- **Enfermería**

$Q_{\text{vent sensible}}(\text{W})$	373,21
$Q_{\text{vent latente}}(\text{W})$	299,13
$Q_{\text{vent}}(\text{W})$	672,34

- **Despachos**



$Q_{\text{vent sensible}}(\text{W})$	373,21
$Q_{\text{vent latente}}(\text{W})$	299,13
$Q_{\text{vent}}(\text{W})$	672,34

- **Zonas de paso**

$Q_{\text{vent sensible}}(\text{W})$	495,56
$Q_{\text{vent latente}}(\text{W})$	395,46
$Q_{\text{vent}}(\text{W})$	891,02

ANEXO 2. CÁLCULO DE LA CARGA TÉRMICA TOTAL DEL EDIFICIO

En el edificio hay diferentes zonas, por las que se realiza un cálculo de carga térmica. Las diferentes zonas se han tratado de forma distinta según la orientación, el uso, y los cerramientos de los que consta.

En las siguientes figuras se indica como se ha nombrado a cada zona para el cálculo de las cargas que se indican a continuación.

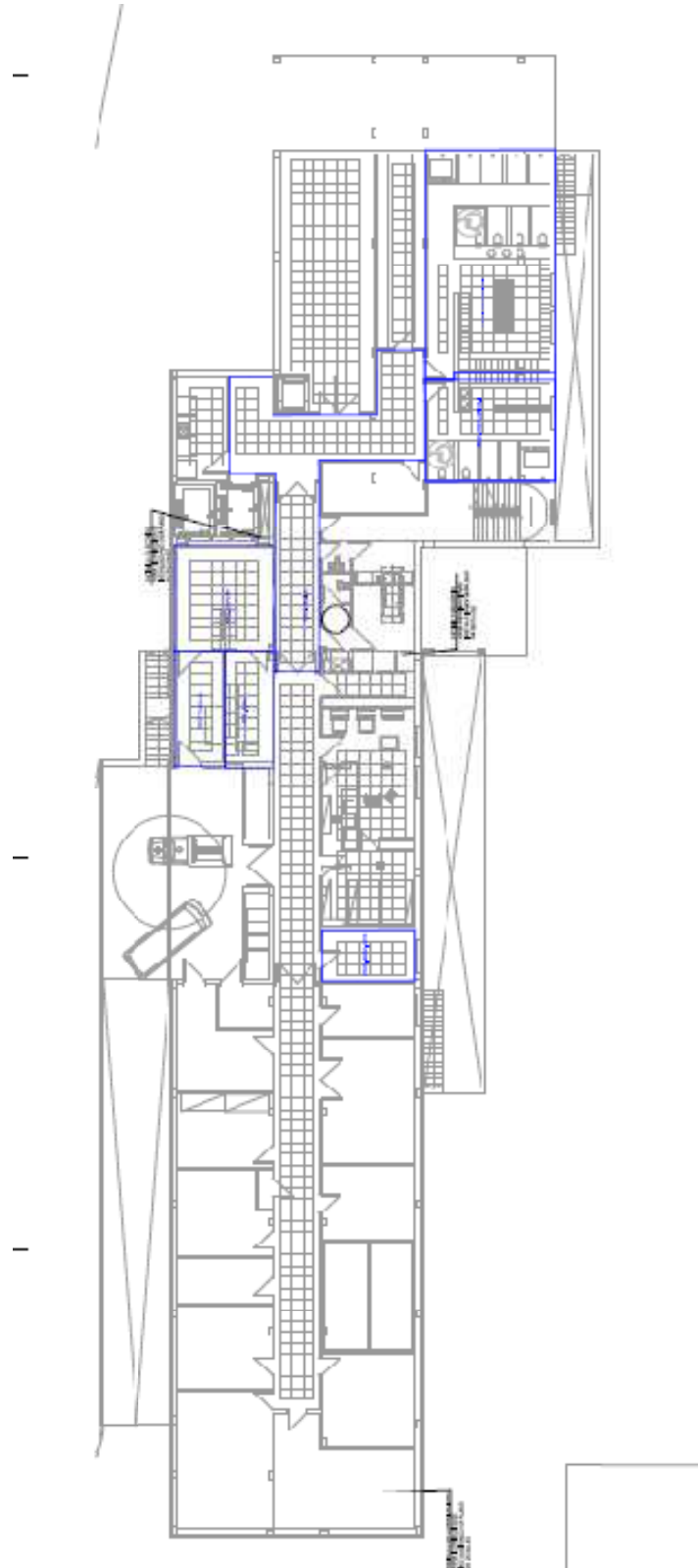


Figura 26. Locales a climatizar en Planta Sótano

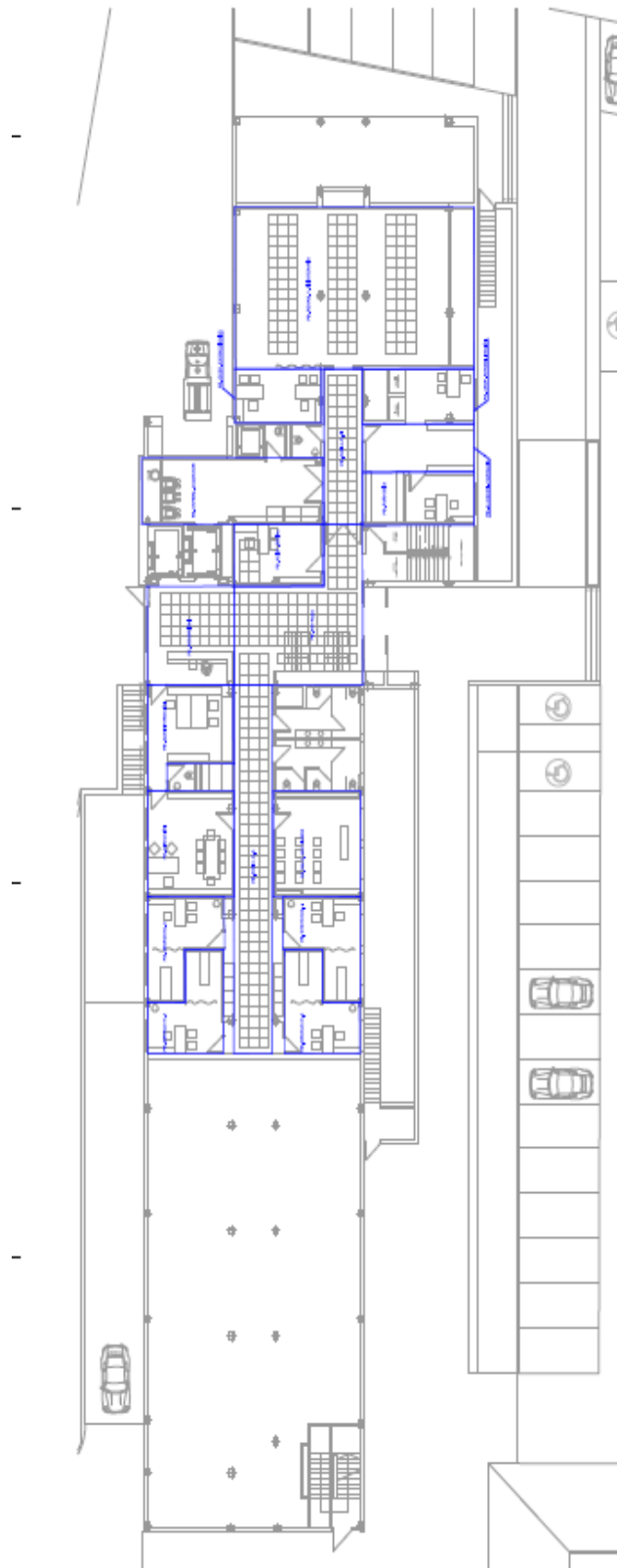


Figura 27. Locales a climatizar en Planta Baja.

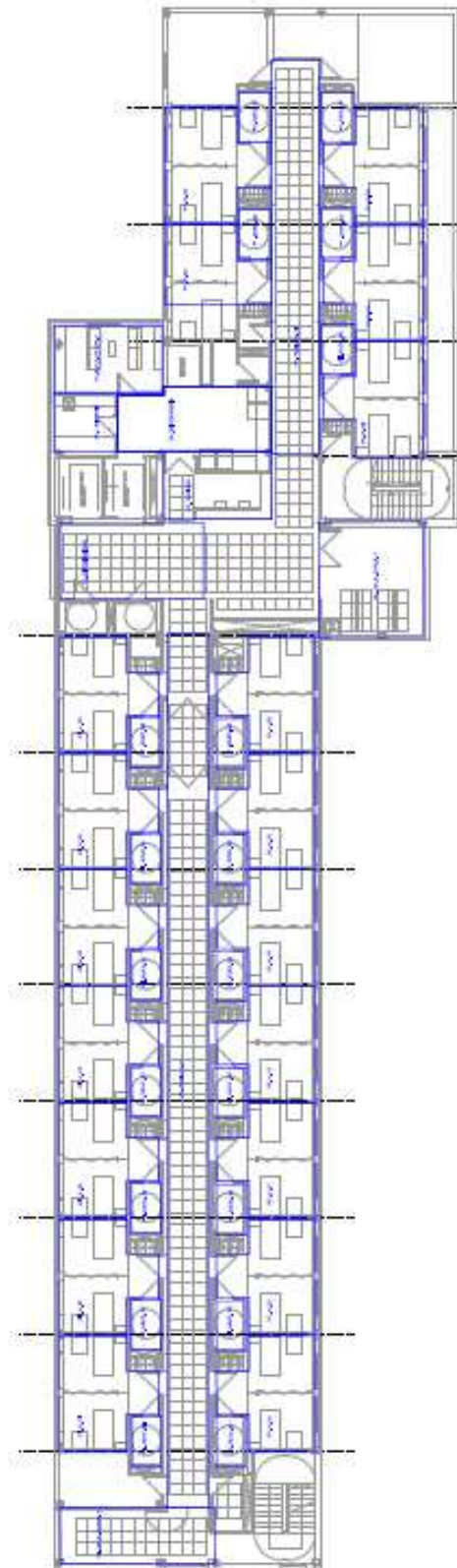


Figura 28. Locales a climatizar en Planta Primera.

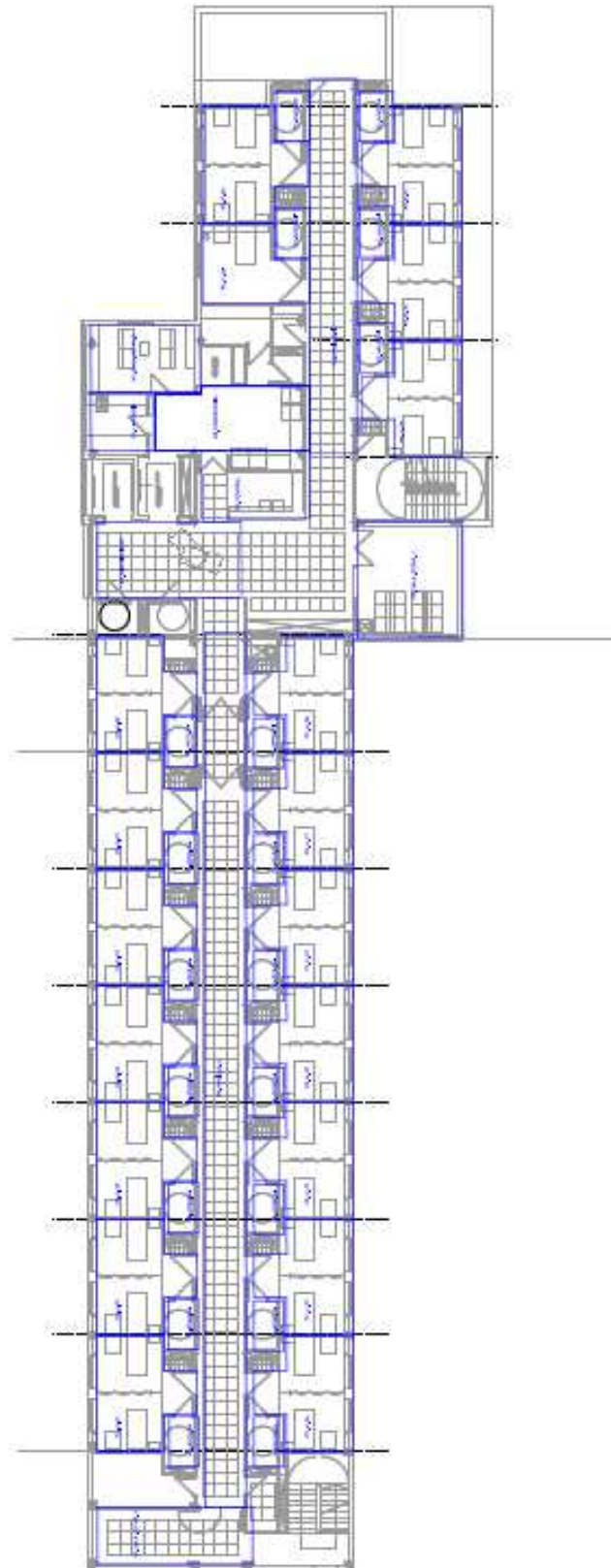


Figura 29. Locales a climatizar en Planta Segunda.

LOCALES PLANTA SÓTANO

PSOT_DESP_MTTO

Área: 10 m²

	A (m2)	U(W/m2K)	AT (K)	Q(W)
Ventanas	1	2	12,6	25,20
Paredes Ext	11	0,31	12,6	42,97
Paredes Int	49	0,53	1	-25,97
Suelo				
Techo				
Ventilación				672,34
Ocupantes				55,00
Iluminación				200,00
Equipos Electrónicos				270,00

PSOT_ESPERA

Área: 20 m²

	A (m2)	U(W/m2K)	AT (K)	Q(W)
Ventanas				
Paredes Ext	20	0,31	12,6	78,12
Paredes Int	37	0,53	1	-19,61
Suelo				
Techo				
Ventilación				2033,93
Ocupantes				431,00
Iluminación				400,00

PSOT_SALA

Área: 15 m²

	A (m2)	U(W/m2K)	AT (K)	Q(W)
Ventanas	2	2	12,6	50,40
Paredes Ext	2	0,31	12,6	7,81
Paredes Int	30	0,53	1	-15,90
Suelo				
Techo				
Ventilación				1256,23
Ocupantes				287,00
Iluminación				300,00

PSOT_TÚMULO

Área: 15 m²

	A (m2)	U(W/m2K)	AT (K)	Q(W)
Ventanas				
Paredes Ext	21	0,31	12,6	82,03
Paredes Int	9	0,53	1	-4,77
Suelo				
Techo				
Ventilación				336,17
Ocupantes				
Iluminación				300,00

PSOT_VESTUARIOS_1

Área: 25 m²

	A (m2)	U(W/m2K)	AT (K)	Q(W)
Ventanas	1	2	12,6	25,20
Paredes Ext	21	0,31	12,6	82,03
Paredes Int	27	0,53	1	-14,31
Suelo				
Techo				
Ventilación				856,25
Ocupantes				200,00
Iluminación				500,00

PSOT_VESTUARIOS_2

Área: 50 m²

	A (m2)	U(W/m2K)	AT (K)	Q(W)
Ventanas	1	2	12,6	25,20
Paredes Ext	44	0,31	12,6	171,86
Paredes Int	38	0,53	1	-20,14
Suelo				
Techo				
Ventilación				1150,00
Ocupantes				400,00
Iluminación				1000,00

PSOT_PASILLO

Área: 30 m²

	A (m2)	U(W/m2K)	AT (K)	Q(W)
Ventanas				
Paredes Ext				
Paredes Int	120	0,53	1	-63,60
Suelo				

Techo				
Ventilación				669,63
Ocupantes				
Iluminación				600,00

LOCALES PLANTA BAJA

PB_SALA_MULTIIUSOS

Área: 20 m²

	A (m2)	U(W/m2K)	AT (K)	Q(W)
Ventanas	6	2	12,6	151,20
Paredes Ext	15	0,31	12,6	58,59
Paredes Int	19	0,53	1	-10,07
Suelo	27	0,59	1	-12,00
Techo				
Ventilación				732,17
Ocupantes				487,50
Iluminación				400,00
Equipos Electrónicos				540,00

PB_REHAB_Y_FISIOTERAPIA

Área: 60 m²

	A (m2)	U(W/m2K)	AT (K)	Q(W)
Ventanas	25	2	12,6	630,00
Paredes Ext	96	0,31	12,6	374,98
Paredes Int				
Suelo	113	0,59	1	-12,00
Techo	13	0,37	12,6	60,61
Ventilación				732,17
Ocupantes				780,00
Iluminación				1200,00
Equipos Electrónicos				1620,00

PB_RECEPCIÓN

Área: 20 m²

	A (m2)	U(W/m2K)	AT (K)	Q(W)
Ventanas	9	2	12,6	226,80
Paredes Ext	11	0,31	12,6	42,97
Paredes Int	20	0,53	1	-10,60
Suelo	30	0,59	1	-12,00
Techo				

Ventilación				672,34
Ocupantes				72,00
Iluminación				300,00
Equipos Electrónicos				540,00

PB_PASILLO_S

Área: 30 m²

	A (m2)	U(W/m2K)	AT (K)	Q(W)
Ventanas				
Paredes Ext				
Paredes Int	14	0,53	1	-7,42
Suelo	60	0,59	1	-12,00
Techo				
Ventilación				669,63
Ocupantes				109,00
Iluminación				600,00

PB_PASILLO_N

Área: 30 m²

	A (m2)	U(W/m2K)	AT (K)	Q(W)
Ventanas				
Paredes Ext				
Paredes Int	14	0,53	1	-7,42
Suelo	30	0,59	1	-12,00
Techo				
Ventilación				669,63
Ocupantes				109,00
Iluminación				600,00

PB_FARMACIA

Área: 18 m²

	A (m2)	U(W/m2K)	AT (K)	Q(W)
Ventanas	4	2	12,6	100,80
Paredes Ext	6	0,31	12,6	23,44
Paredes Int	16	0,53	1	-8,48
Suelo	18	0,59	1	-12,00
Techo	4	0,37	12,6	18,65
Ventilación				672,34
Ocupantes				107,00
Iluminación				360,00
Equipos Electrónicos				486,00

PB_ESPERA_ASCENSOR

Área: 20 m²

	A (m2)	U(W/m2K)	AT (K)	Q(W)
Ventanas	12	2	12,6	302,40
Paredes Ext	3	0,31	12,6	11,72
Paredes Int	50	0,53	1	-26,50
Suelo	33	0,59	1	-12,00
Techo	13	0,37	12,6	60,61
Ventilación				446,42
Ocupantes				107,00
Iluminación				400,00

PB_ENTRADA

Área: 25 m²

	A (m2)	U(W/m2K)	AT (K)	Q(W)
Ventanas	12	2	12,6	302,40
Paredes Ext	6	0,31	12,6	23,44
Paredes Int	34	0,53	1	-18,02
Suelo	46	0,59	1	-12,00
Techo				
Ventilación				558,02
Ocupantes				642,00
Iluminación				500,00

PB_DIRECCIÓN

Área: 18 m²

	A (m2)	U(W/m2K)	AT (K)	Q(W)
Ventanas	6	2	12,6	151,20
Paredes Ext	13	0,31	12,6	50,78
Paredes Int	15	0,53	1	-7,95
Suelo	30	0,59	1	-12,00
Techo				
Ventilación				672,34
Ocupantes				284,00
Iluminación				360,00
Equipo Electrónico				486,00

PB_DESPACHO_4

Área: 15 m²

	A (m2)	U(W/m2K)	AT (K)	Q(W)
Ventanas	6	2	12,6	151,20



Paredes Ext	15	0,31	12,6	58,59
Paredes Int				
Suelo	20	0,59	1	-12,00
Techo				
Ventilación				672,34
Ocupantes				157,00
Iluminación				300,00
Equipo Electrónico				405,00

PB_DESPACHO_3

Área: 18 m²

	A (m2)	U(W/m2K)	AT (K)	Q(W)
Ventanas	3	2	12,6	75,60
Paredes Ext	9	0,31	12,6	35,15
Paredes Int	18	0,53	1	-9,54
Suelo	20	0,59	1	-12,00
Techo				
Ventilación				672,34
Ocupantes				164,00
Iluminación				360,00
Equipo Electrónico				486,00

PB_DESPACHO_2

Área: 18 m²

	A (m2)	U(W/m2K)	AT (K)	Q(W)
Ventanas	6	2	12,6	151,20
Paredes Ext	13	0,31	12,6	50,78
Paredes Int				
Suelo	20	0,59	1	-12,00
Techo				
Ventilación				672,34
Ocupantes				171,00
Iluminación				360,00
Equipo Electrónico				486,00

PB_DESPACHO_1

Área: 18 m²

	A (m2)	U(W/m2K)	AT (K)	Q(W)
Ventanas	4	2	12,6	100,80
Paredes Ext	8	0,31	12,6	31,25
Paredes Int	18	0,53	1	-9,54
Suelo	20	0,59	1	-12,00



Techo				
Ventilación				672,34
Ocupantes				167,00
Iluminación				360,00
Equipo Electrónico				486,00

PB_DESP_REHABILITACIÓN

Área: 16 m²

	A (m2)	U(W/m2K)	AT (K)	Q(W)
Ventanas				
Paredes Ext	15	0,31	12,6	58,59
Paredes Int	20	0,53	1	-10,60
Suelo	16	0,59	1	-12,00
Techo				
Ventilación				672,34
Ocupantes				223,00
Iluminación				320,00
Equipo Electrónico				432,00

PB_DESP_EXTRACCIONES

Área: 18 m²

	A (m2)	U(W/m2K)	AT (K)	Q(W)
Ventanas	4	2	12,6	100,80
Paredes Ext	11	0,31	12,6	42,97
Paredes Int				
Suelo	18	0,53	1	-9,54
Techo	5	0,59	1	-12,00
Ventilación				397,22
Ocupantes				107,00
Iluminación				360,00
Equipo Electrónico				486,00

PB_ASIST_SOCIAL

Área: 17,5 m²

	A (m2)	U(W/m2K)	AT (K)	Q(W)
Ventanas				
Paredes Ext				
Paredes Int	32	0,53	1	-16,96
Suelo	18	0,59	1	-12,00
Techo				
Ventilación				397,22
Ocupantes				164,00
Iluminación				350,00

Equipo Electrónico				472,50
--------------------	--	--	--	--------

PB_ALMACÉN_FARMACIA

Área: 25 m²

	A (m2)	U(W/m2K)	AT (K)	Q(W)
Ventanas				
Paredes Ext	11	0,31	12,6	42,97
Paredes Int	9	0,53	1	-4,77
Suelo	27	0,59	1	-12,00
Techo	5	0,37	12,6	23,31
Ventilación				672,34
Ocupantes				
Iluminación				500,00

PB_ADMINISTRACIÓN

Área: 23 m²

	A (m2)	U(W/m2K)	AT (K)	Q(W)
Ventanas	9	2	12,6	226,80
Paredes Ext	13	0,31	12,6	50,78
Paredes Int	15	0,53	1	-7,95
Suelo	23	0,59	1	-12,00
Techo				
Ventilación				397,22
Ocupantes				171,00
Iluminación				460,00
Equipos Electrónicos				621,00

LOCALES PLANTA 1

P1_ASEOS_A1

Área: 3.8 m²

	A (m2)	U (W/m2K)	AT (K)	Q (W)
Ventanas				
Paredes Ext				
Paredes Int	8	0,53	1	-4,24
Suelo				
Techo				
Ventilación				403,38
Ocupantes				

Iluminación				76,00
-------------	--	--	--	-------

P1_ASEOS_A2

Área: 3.8 m²

	A (m2)	U (W/m2K)	AT (K)	Q (W)
Ventanas				
Paredes Ext				
Paredes Int	6	0,53	1	-3,18
Suelo				
Techo				
Ventilación				403,38
Ocupantes				
Iluminación				76,00

P1_ASEOS_A7

Área: 3.8 m²

	A (m2)	U (W/m2K)	AT (K)	Q (W)
Ventanas				
Paredes Ext	4	0,31	12,6	15,62
Paredes Int	7	0,53	1	-3,71
Suelo				
Techo				
Ventilación				403,38
Ocupantes				
Iluminación				76,00

P1_ENFERMERÍA

Área: 21.5 m²

	A (m2)	U (W/m2K)	AT (K)	Q (W)
Ventanas				
Paredes Ext				
Paredes Int	18	0,53	1	-9,54
Suelo				
Techo				
Ventilación				672,34
Ocupantes				72,00
Iluminación				430,00

P1_H_01

Área: 24 m²

	A (m2)	U (W/m2K)	AT (K)	Q (W)
Ventanas	4	2	12,6	100,80



Paredes Ext	16	0,31	12,6	62,50
Paredes Int	27	0,53	1	-14,31
Suelo				
Techo				
Ventilación				732,17
Ocupantes				287,00
Iluminación				480,00

P1_H_02

Área: 24 m²

	A (m2)	U (W/m2K)	AT (K)	Q (W)
Ventanas	4	2	12,6	100,80
Paredes Ext	16	0,31	12,6	62,50
Paredes Int	15	0,53	1	-7,95
Suelo				
Techo				
Ventilación				732,17
Ocupantes				287,00
Iluminación				480,00

P1_H_03

Área: 24 m²

	A (m2)	U (W/m2K)	AT (K)	Q (W)
Ventanas	4	2	12,6	100,80
Paredes Ext	16	0,31	12,6	62,50
Paredes Int	27	0,53	1	-14,31
Suelo				
Techo				
Ventilación				732,17
Ocupantes				287,00
Iluminación				480,00

P1_H_05

Área: 24 m²

	A (m2)	U (W/m2K)	AT (K)	Q (W)
Ventanas	4	2	12,6	100,80
Paredes Ext	16	0,31	12,6	62,50
Paredes Int	27	0,53	1	-14,31
Suelo				
Techo				
Ventilación				732,17
Ocupantes				287,00
Iluminación				480,00

P1_H_06

Área: 24 m²

	A (m2)	U (W/m2K)	AT (K)	Q (W)
Ventanas	4	2	12,6	100,80
Paredes Ext	16	0,31	12,6	62,50
Paredes Int	15	0,53	1	-7,95
Suelo				
Techo				
Ventilación				732,17
Ocupantes				287,00
Iluminación				480,00

P1_H_07

Área: 24 m²

	A (m2)	U (W/m2K)	AT (K)	Q (W)
Ventanas	4	2	12,6	100,80
Paredes Ext	29	0,31	12,6	113,27
Paredes Int	27	0,53	1	-14,31
Suelo				
Techo				
Ventilación				732,17
Ocupantes				287,00
Iluminación				480,00

P1_LENCERÍA

Área: 9.5 m²

	A (m2)	U (W/m2K)	AT (K)	Q (W)
Ventanas				
Paredes Ext	9	0,31	12,6	35,15
Paredes Int	15	0,53	1	-7,95
Suelo				
Techo				
Ventilación				352,58
Ocupantes				102,00
Iluminación				190,00

P1_SALA DE ESTAR 3

Área: 25 m²

	A (m2)	U(W/m2K)	AT (K)	Q(W)
Ventanas	18	2	12,6	453,60
Paredes Ext	10	0,31	12,6	39,06



Paredes Int	19	0,53	1	-10,07
Suelo				
Techo				
Ventilación				2689,29
Ocupantes				585,00
Iluminación				500,00

P1_SALA DE ESTAR 2

Área: 20 m²

	A (m2)	U (W/m2K)	AT (K)	Q (W)
Ventanas	3	2	12,6	75,60
Paredes Ext	33	0,31	12,6	128,90
Paredes Int	8	0,53	1	-4,24
Suelo				
Techo				
Ventilación				3800,00
Ocupantes				228,00
Iluminación				400,00

P1_SALA DE ESTAR 3

Área: 14.3 m²

	A (m2)	U (W/m2K)	AT (K)	Q (W)
Ventanas	4	2	12,6	100,80
Paredes Ext	24	0,31	12,6	93,74
Paredes Int	19	0,53	1	-10,07
Suelo				
Techo				
Ventilación				3200,00
Ocupantes				228,00
Iluminación				286,00

P1_CONTROL

Área: 14 m²

	A (m2)	U (W/m2K)	AT (K)	Q (W)
Ventanas				
Paredes Ext				
Paredes Int	13	0,53	1	-6,89
Suelo				
Techo				
Ventilación				412,54
Ocupantes				144,00
Iluminación				280,00

Equipo Eletronico				378,00
-------------------	--	--	--	--------

P1_DISTRIBUIDOR

Área: 29 m²

	A (m2)	U (W/m2K)	AT (K)	Q (W)
Ventanas	6	2	12,6	151,20
Paredes Ext	8	0,31	12,6	31,25
Paredes Int	40	0,53	1	-21,20
Suelo				
Techo				
Ventilación				526,61
Ocupantes				112,00
Iluminación				580,00

P1_PASILLO N

Área: 56 m²

	A (m2)	U (W/m2K)	AT (K)	Q (W)
Ventanas	6	2	12,6	151,20
Paredes Ext	3	0,31	12,6	11,72
Paredes Int	10	0,53	1	-5,30
Suelo				
Techo				
Ventilación				1116,05
Ocupantes				
Iluminación				1120,00

P1_PASILLO S

Área: 120 m²

	A (m2)	U (W/m2K)	AT (K)	Q (W)
Ventanas	3	2	12,6	75,60
Paredes Ext	6	0,31	12,6	23,44
Paredes Int	10	0,53	1	-5,30
Suelo				
Techo				
Ventilación				2232,09
Ocupantes				
Iluminación				2400,00

LOCALES PLANTA 2

P2_ASEOS_A3



Área: 3.8 m²

	A (m ²)	U (W/m ² K)	AT (K)	Q (W)
Ventanas				
Paredes Ext				
Paredes Int	8	0,53	1	-4,24
Suelo				
Techo	4	0,37	12,6	18,65
Ventilación				403,38
Ocupantes				
Iluminación				76,00

P2_ASEOS_A4

Área: 3.8 m²

	A (m ²)	U (W/m ² K)	AT (K)	Q (W)
Ventanas				
Paredes Ext				
Paredes Int	6	0,53	1	-3,18
Suelo				
Techo	4	0,37	12,6	18,65
Ventilación				403,38
Ocupantes				
Iluminación				76,00

P2_ASEOS_A5

Área: 3.8 m²

	A (m ²)	U (W/m ² K)	AT (K)	Q (W)
Ventanas				
Paredes Ext	4	0,31	12,6	15,62
Paredes Int	7	0,53	1	-3,71
Suelo				
Techo	4	0,37	12,6	18,65
Ventilación				403,38
Ocupantes				
Iluminación				76,00

P2_ASEOS_A6

Área: 3.8 m²

	A (m ²)	U (W/m ² K)	AT (K)	Q (W)
Ventanas				
Paredes Ext	4	0,31	12,6	15,62
Paredes Int	7	0,53	1	-3,71
Suelo				

Techo	4	0,37	12,6	18,65
Ventilación				403,38
Ocupantes				
Iluminación				76,00

P2_ENFERMERÍA

Área: 21.5 m²

	A (m2)	U (W/m2K)	AT (K)	Q (W)
Ventanas				
Paredes Ext				
Paredes Int	18	0,53	1	-9,54
Suelo				
Techo	13	0,37	12,6	60,61
Ventilación				672,34
Ocupantes				72,00
Iluminación				430,00

P2_H_01

Área: 24 m²

	A (m2)	U (W/m2K)	AT (K)	Q (W)
Ventanas	4	2	12,6	100,80
Paredes Ext	16	0,31	12,6	62,50
Paredes Int	27	0,53	1	-14,31
Suelo				
Techo	24	0,37	12,6	111,89
Ventilación				732,17
Ocupantes				287,00
Iluminación				480,00

P2_H_02

Área: 24 m²

	A (m2)	U (W/m2K)	AT (K)	Q (W)
Ventanas	4	2	12,6	100,80
Paredes Ext	16	0,31	12,6	62,50
Paredes Int	15	0,53	1	-7,95
Suelo				
Techo	24	0,37	12,6	111,89
Ventilación				732,17
Ocupantes				287,00
Iluminación				480,00

P2_H_03

Área: 24 m²

	A (m ²)	U (W/m ² K)	AT (K)	Q (W)
Ventanas	4	2	12,6	100,80
Paredes Ext	16	0,31	12,6	62,50
Paredes Int	27	0,53	1	-14,31
Suelo				
Techo	24	0,37	12,6	111,89
Ventilación				732,17
Ocupantes				287,00
Iluminación				480,00

P2_H_04

Área: 24 m²

	A (m ²)	U (W/m ² K)	AT (K)	Q (W)
Ventanas	2	2	12,6	50,40
Paredes Ext	12	0,31	12,6	46,87
Paredes Int	27	0,53	1	-14,31
Suelo				
Techo	18	0,37	12,6	83,92
Ventilación				732,17
Ocupantes				72,00
Iluminación				350,00

P2_H_05

Área: 24 m²

	A (m ²)	U (W/m ² K)	AT (K)	Q (W)
Ventanas	4	2	12,6	100,80
Paredes Ext	29	0,31	12,6	113,27
Paredes Int	27	0,53	1	-14,31
Suelo				
Techo	24	0,37	12,6	111,89
Ventilación				732,17
Ocupantes				287,00
Iluminación				480,00

P2_H_06

Área: 24 m²

	A (m ²)	U (W/m ² K)	AT (K)	Q (W)
Ventanas	4	2	12,6	100,80
Paredes Ext	16	0,31	12,6	62,50
Paredes Int	27	0,53	1	-14,31
Suelo				



Techo	24	0,37	12,6	111,89
Ventilación				732,17
Ocupantes				287,00
Iluminación				480,00

P2_H_07

Área: 24 m²

	A (m2)	U (W/m2K)	AT (K)	Q (W)
Ventanas	4	2	12,6	100,80
Paredes Ext	16	0,31	12,6	62,50
Paredes Int	15	0,53	1	-7,95
Suelo				
Techo	24	0,37	12,6	111,89
Ventilación				732,17
Ocupantes				287,00
Iluminación				480,00

P2_H_08

Área: 24 m²

	A (m2)	U (W/m2K)	AT (K)	Q (W)
Ventanas	4	2	12,6	100,80
Paredes Ext	16	0,31	12,6	62,50
Paredes Int	27	0,53	1	-14,31
Suelo				
Techo	24	0,37	12,6	111,89
Ventilación				732,17
Ocupantes				287,00
Iluminación				480,00

P2_H_09

Área: 24 m²

	A (m2)	U (W/m2K)	AT (K)	Q (W)
Ventanas	4	2	12,6	100,80
Paredes Ext	16	0,31	12,6	62,50
Paredes Int	27	0,53	1	-14,31
Suelo				
Techo	24	0,37	12,6	111,89
Ventilación				732,17
Ocupantes				287,00
Iluminación				480,00

P2_H_10

Área: 24 m²

	A (m ²)	U (W/m ² K)	AT (K)	Q (W)
Ventanas	4	2	12,6	100,80
Paredes Ext	16	0,31	12,6	62,50
Paredes Int	15	0,53	1	-7,95
Suelo				
Techo	24	0,37	12,6	111,89
Ventilación				732,17
Ocupantes				287,00
Iluminación				480,00

P2_H_11

Área: 24 m²

	A (m ²)	U (W/m ² K)	AT (K)	Q (W)
Ventanas	4	2	12,6	100,80
Paredes Ext	29	0,31	12,6	113,27
Paredes Int	27	0,53	1	-14,31
Suelo				
Techo	24	0,37	12,6	111,89
Ventilación				732,17
Ocupantes				287,00
Iluminación				480,00

P2_LENCERÍA

Área: 9.5 m²

	A (m ²)	U (W/m ² K)	AT (K)	Q (W)
Ventanas				
Paredes Ext	9	0,31	12,6	35,15
Paredes Int	19	0,53	1	-10,07
Suelo				
Techo				
Ventilación				312,52
Ocupantes				55,00
Iluminación				190,00

P2_SALA DE ESTAR 1

Área: 25 m²

	A (m ²)	U(W/m ² K)	AT (K)	Q(W)
Ventanas	18	2	12,6	453,60
Paredes Ext	10	0,31	12,6	39,06
Paredes Int	19	0,53	1	-10,07
Suelo				

Techo	30	0,37	12,6	-139,86
Ventilación				2689,29
Ocupantes				585,00
Iluminación				500,00

P2_SALA DE ESTAR 2

Área: 20.5 m²

	A (m2)	U (W/m2K)	AT (K)	Q (W)
Ventanas	3	2	12,6	75,60
Paredes Ext	33	0,31	12,6	128,90
Paredes Int	29	0,53	1	-15,37
Suelo				
Techo				
Ventilación				2016,97
Ocupantes				228,00
Iluminación				410,00

P2_SALA DE ESTAR 3

Área: 14 m²

	A (m2)	U (W/m2K)	AT (K)	Q (W)
Ventanas	4	2	12,6	100,80
Paredes Ext	24	0,31	12,6	93,74
Paredes Int	33	0,53	1	-17,49
Suelo				
Techo				
Ventilación				2016,97
Ocupantes				223,00
Iluminación				280,00

P2_CONTROL

Área: 14 m²

	A (m2)	U (W/m2K)	AT (K)	Q (W)
Ventanas				
Paredes Ext				
Paredes Int	16	0,53	1	-8,48
Suelo				
Techo	11	0,37	12,6	-51,28
Ventilación				672,34
Ocupantes				144,00
Iluminación				280,00
Equipos Electrónicos				378,00

P2_PASILLO_S

Área: 35 m²

	A (m2)	U(W/m2K)	AT (K)	Q(W)
Ventanas	3	2	12,6	75,60
Paredes Ext	6	0,31	12,6	23,44
Paredes Int	10	0,53	1	-5,30
Suelo				
Techo	120	0,37	12,6	559,44
Ventilación				781,23
Ocupantes				
Iluminación				700,00

P2_PASILLO_N

Área: 35 m²

	A (m2)	U(W/m2K)	AT (K)	Q(W)
Ventanas	6	2	12,6	151,20
Paredes Ext	3	0,31	12,6	11,72
Paredes Int	10	0,53	1	-5,30
Suelo				
Techo	56	0,37	12,6	261,07
Ventilación				781,23
Ocupantes				
Iluminación				700,00

P2_DISTRIBUIDOR

Área: 20 m²

	A (m2)	U(W/m2K)	AT (K)	Q(W)
Ventanas	6	2	12,6	151,20
Paredes Ext	8	0,31	12,6	31,25
Paredes Int	40	0,53	1	-21,20
Suelo				
Techo	29	0,37	12,6	135,20
Ventilación				526,61
Ocupantes				144,00
Iluminación				400,00

Con estos datos se puede obtener la carga térmica total del edificio para el verano, que corresponde a **174.5 KW**.

